This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

HC 4QGX M

Digitized by Google

28.11.18?2.1
A

Charles A. Oliver.

Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

VORLESUNGEN

ÜBER DIE

OPTISCHEN FEHLER DES AUGES.

VON

Dr. LUDWIG MAUTHNER

K. K. ORD. Ö. PROFESSOR DER AUGENHEILKUNDE AN DER UNIVERSITÄT INNSBRUCK.

I. ABTHEILUNG.

ALLGEMEINER THEIL.

MIT 51 HOLZSCHNITTEN UND 2 TAFELN.

WIEN, 1872.

WILHELM BRAUMÜLLER

K. K. HOF- UND UNIVERSITÄTSBUCHHÄNDLER.

Digitized by Google

28.11.1872.1

Digitized by Google

Inhalts-Verzeichniss.

Erste Vorlesung.

Seite

Einleitung. Das Auge als optisches Instrument. Physiologie des Sehens 1—15
Maurolycus, Porta, Kepler, Scheiner über das Sehen . . . 2
Demonstrirung des Netzhautbildchens durch Des Cartes. Huygens' künstliches Auge 4
Mariotte's Ansicht über die Bedeutung der Aderhaut als Sehorgan 5
Anatomie und Bedeutung der Netzhautstäbe und Zapfen 6
Isolirung der Erregung in denselben 8
Anatomische und physiologische Gründe für die Bedeutung der Zapfen 10
Listing's schematisches Auge 13
Das reducirte Auge 14

Zweite Vorlesung.

Begriff der Refraction und Accommodation des Auges. Veränderungen im Auge während der Accommodation . . . . . 16—30
Die Brechkraft des Auges 16
Das Accommodationsvermögen 18
Die Accommodation durch die Linse bewirkt 19
Helmholtz' Resultate in Betreff der Linsenveränderung 20
Beobachtung der Linsenbilder nach Coccius 21
Der Accommodationsmuskel 22
Wirkungsweise desselben und Accommodationstheorie 24
Beweise für die Richtigkeit der Theorie 26
Verhalten der Iris und der Ciliarfortsätze 27
Die Theorie von Coccius 28
Historisches 28

Digitized by Google

Dritte Vorlesung.

Seite
Die Refractionsfehler des Auges . . . . . 31—43
Chromatische Aberration 31
Fraunhofer's Versuch 35
Grösse der Dispersion im Auge 36
Nachweis der Farbenzerstreuung 37
Monochromatische Aberration 38
Die Ametropie 41

Vierte Vorlesung.

Ophthalmometrie . . . . . 43—72
Young's und Kohlrausch's Hornhautmessungen 44
Helmholtz's Ophthalmometer 45
Bestimmung des Radius der Hornhaut 52
Bestimmung der Hornhautmitte 55
Winkel α 62
Messung der Linsenkrümmung 71

Fünfte Vorlesung.

Definition der Accommodationsbreiten. Bezeichnungsweise der Brillenwerthe. Die Ausdrücke für die Accommodationsbreiten des Emmetropen und Ametropen . . . . . 72—91
Bezeichnungsweise der Linsenwerthe 73
Binoculäre Accommodationsbreite 76
Absolute Accommodationsbreite 79
Zerlegung der Accommodationsbreite 79
Relative Accommodationsbreite 82
Emmetropie und Ametropie 85
Die Formeln für die Accommodationsbreiten 89

Sechste Vorlesung.

Brillenlehre . . . . . 92—104
Kepler's Erklärung der Brillenwirkung 93
Differenz in den Brillenmaassen 96
Bestimmung der Brennweite der Gläser 97

Siebente Vorlesung.

Die Reihenfolge der Brillenbrennweiten . . . . . 104—117
Burow's und Zehender's Vorschlag 106
Nagel's, Javal's und Burow's fernere Vorschläge 107
Kritik der Ansichten 108
Resultate 116

Digitized by Google

Achte Vorlesung.

Seite
Sehschärfe . . . . . 117 - 143
Der Gesichtswinkel 119
Prüfung der Sehschärfe 122
Die Sternprüfung 123
Werth des kleinsten Gesichtswinkels 127
Die Grösse der percipirenden Elemente 128
Volkmann's Experimente 129
Praktische Bestimmung der Sehschärfe 131
Mass der Sehschärfe 137
Neuere Sehproben 141

Neunte Vorlesung.

I. Einfluss der Beleuchtung und des Alters auf die Sehschärfe . . 144—149
II. Einfluss der Myopie und Hypermetropie auf die Sehschärfe . . 149—169
Einfluss der Beleuchtung 144
Einfluss des Alters 147
Das Sehen durch Zerstreuungskreise bei Ametropie 151
Die Bildgrösse im myopischen Auge 156
Die Bildgrösse im hypermetropischen Auge 158
Sehschärfe bei Hypermetropie 162
Sehschärfe bei Myopie 165

Zehnte Vorlesung.

Einfluss der Brillengläser auf die Lage der Cardinalpunkte des Auges, sowie auf die Sehschärfe . . . . . 169—182
Lage der Cardinalpunkte bei Correction von Myopie 1/3 durch Concav 2 171
Die Vergrösserungszahl für Concavgläser 177
M 1/3 corrigirt durch Concav 2 1/2 179
M 1/3 corrigirt durch Concav 2 1/4 180

Eilfte Vorlesung.

Die Gesetze für Concav- urd Convexgläser. Die Sehschärfe des corrigirten hypermetropischen Auges . . . . . 182—196
Die Gesetze der Concavgläser 182
H 1/3 corrigirt durch Convex 3 1/2 187
H 1/3 corrigirt durch Convex 4 190
H 1/3 corrigirt durch Convex 3 3/4 191
Die Gesetze der Convexgläser 192

Zwölfte Vorlesung.

Bestimmung des Fern- und Nahepunktes . . . . . 196—218
Diagnose der Emmetropie 198

Digitized by Google

Seite

Correction der Myopie 199
Correction der Hypermetropie 205
Refractionsmesser 207
Thomson's Bestimmungsmethode des Fernpunktes 210
Bestimmung des Fernpunktes an nahgelegenen Objecten 212
Der Augenspiegel als Refractionsmesser 213
Bestimmung des Nahepunktes 215

Digitized by Google

Erste Vorlesung.

Einleitung. Das Auge als optisches Instrument. Physiologie des Sehens.

Wenn wir, meine Herren! das weite Gebiet der Augenheilkunde durchmustern, so müssen wir uns zugestehen, dass wohl auf keinem Theile derselben die physikalische Forschung, gestützt auf anatomische Grundlage, so schöne Resultate geliefert, so grosse Triumphe gefeiert, als gerade auf dem Felde der optischen Fehler des Auges.

Vor zwanzig Jahren wusste man von dem ganzen Gegenstande so viel wie Nichts. Man wusste nicht, dass die Myopie im Allgemeinen auf einer Verlängerung des Bulbus beruhe, die Hypermetropie und den ihr zu Grunde liegenden Formfehler kannte man nicht, und vom Astigmatismus waren nur einzelne Kunden von England zu uns herübergekommen, von den Wenigsten vernommen und auch von Diesen in ihrer wahren Bedeutung nicht gewürdigt. Und nun! Nach einer verhältnissmässig so kurzen Spanne Zeit ist es den vereinten Bemühungen einer Reihe von Männern gelungen, zu bewirken, dass, wie sich Gräfe an einer Stelle mit ähnlichen Worten ausdrückt, auf dem bis dahin nahezu unbebauten Felde eine üppige Saat aufgeschossen ist, deren Früchte in Donders' grossem Werke, das im Jahre 1864 die Presse der New Sydenham Society zu London verlassen hat, und von welchem wir durch Otto Becker eine deutsche Uebersetzung besitzen, zum grossen Theile aufgespeichert sind.

Meine Herren! Unsere Aufgabe ist es hier, uns mit den Errungenschaften auf dem genannten Felde unserer Wissenschaft vertraut zu machen, nicht in der Weise, dass wir in alle Details der Forschungen, in eine genaue historische Analyse derselben, in die Aufzählung der über streitige Punkte aufgestellten Meinungen eingehen, sondern es liegt vielmehr in unserer Absicht, ein übersichtliches Bild des Ganzen zu geben, indem wir es versuchen wollen, alles zur Sache Gehörige in einen wohlbegrenzten Rahmen zu spannen, und Lücken, die sich auf unserem Gebiete noch finden, wo möglich auszufüllen.

Digitized by Google

Ehe wir an unsere eigentliche Aufgabe gehen, ist es vor Allem nothwendig, dass wir die physikalischen Eigenschaften des Objectes, mit dessen physikalischen Abweichungen wir uns beschäftigen sollen, näher in's Auge fassen. Das Object ist das menschliche Auge. Seiner Construction nach entspricht es einer sogenannten Camera obscura, wie sie jeder photographische Apparat darstellt. In dieser dunkeln Kammer wird durch ein Linsensystem das umgekehrte Bild eines leuchtenden Objectes auf einem Schirme entworfen. Dasselbe ist beim Auge der Fall. Der dioptrische Apparat des Auges wird durch Cornea, Kammerwasser und Linse, der Schirm durch die Netzhaut dargestellt. Es entspricht dem Ideale eines Auges, dass von einem zu sehenden Objecte ein vollkommen scharfes, umgekehrtes Bild auf einer bestimmten Netzhautschichte entworfen wird, dass demnach die Strahlen, die von jedem einzelnen Punkte des Objectes ausgehen, auf der Netzhaut wieder je in Einem Punkte ihre Vereinigung finden.

Mit wenigen Worten haben wir die Ihnen wohlbekannte physikalische Wesenheit des Auges hingestellt. Allein bis man zur richtigen Ansicht der Dinge gelangte, hat es lange gewährt. Es ist ein wunderliches und interessantes Studium, wenn man sich mit den Schicksalen beschäftigt, welche die Theorie des Sehens im Laufe der Zeiten erfahren hat, wenn man sieht, wie selbst, nachdem Geister ersten Ranges die volle Wahrheit an's Licht gebracht, noch lange Zeit nachher von Zeit zu Zeit sich immer wieder Stimmen erhoben, welche sich nicht scheuten, die abenteuerlichsten Ansichten gegen die allein richtige in's Feld zu führen, wenn es auch nicht zweifelhaft sein konnte, auf welcher Seite schliesslich der Sieg verbleiben würde.

Als der Erste, welcher sich der richtigen Anschauung über den Modus des Sehens näherte, muss der gelehrte Abbé von Messina, Franciscus Maurolycus genannt werden, welcher im Jahre 1575 sich dahin aussprach, dass die Linse im menschlichen Auge einer Glaslinse zu vergleichen sei, die so wie diese die Strahlen breche. Er zog auch die Möglichkeit in Betracht, dass durch diese Linse in der Tiefe des Auges Bilder der Gegenstände entworfen werden könnten, aber er verwirft diese Idee aus dem Grunde, weil derartige Bilder umgekehrt sein müssten, und die Folge hievon, wie er meinte, wäre, dass wir Alles verkehrt sehen würden. Auf dem Pfade, der die Geschichte der Theorie des Sehens verfolgt, weiterschreitend, stossen wir zunächst auf Johann Baptist Porta, den Erfinder der Camera obscura. Er konnte nicht umhin, einige Jahre nach Maurolycus einen Vergleich zwischen dem von ihm erfundenen Instrumente und dem Auge zu ziehen. Er

Digitized by Google

verglich das Auge mit der dunkeln Kammer, hatte also hierin das Richtige getroffen, allein über jenen Theil, welcher den Schirm der Camera obscura vertreten sollte, stellte er eine durchaus unrichtige Ansicht auf, indem er glaubte, dass die Hornhaut allein die Brechung des Lichtes auf sich nehme, und dass die Bilder auf der Vorderfläche der Linse entworfen würden. Erst dem grossen Genius Johannes Kepler war es vorbehalten, die volle Einsicht in den Mechanismus des Sehens zu erlangen. Er war es ja auch, welcher der Erste die richtige Theorie über die Wirkung der Brillen und der optischen Instrumente im Allgemeinen entwickelte, er war es, der mit einem Schlage die Begründung aller hierher gehörigen Phänomene zu einer solchen Klarheit und Höhe erhob, dass seinen Nachfolgern beinahe Nichts zu thun mehr übrig blieb. In seinen zwei unvergänglichen hieher bezüglichen Schriften, von denen die eine: Ad Vitellionem Paralipomena, 1604 zu Frankfurt, die andere: Dioptrice, sieben Jahre später zu Augsburg erschien, sagt er, dass auf der Netzhaut ein umgekehrtes Bild des gesehenen Objectes entworfen wird, und stellt zugleich als Bedingung für das deutliche Sehen hin, dass das Bild auf der Netzhaut ein scharfes und deutliches sei.

„Dann erst," heisst es schon in dem erstgenannten Werke [1]), „ist das Sehen am deutlichsten, wenn alles Licht, das von einem und demselben Punkte kommt, wiederum gesammelt wird, so dass es einen einzigen Punkt der Netzhaut möglichst stark beleuchtet, und wenn gleichzeitig auf diesen Punkt der Netzhaut kein Strahl, der von irgend einem andern Leuchtpunkte ausgeht, auffallen kann."

Die Theorie des Sehens wurde zunächst durch den berühmten Jesuiten Christophorus Scheiner weiter gefördert, welcher auch als Derjenige genannt wird, der zuerst das auf der Retina entstehende umgekehrte Bildchen demonstrirte. Helmholtz führt in seiner physiologischen Optik an, dass Scheiner zuvörderst an Thieraugen die Retina im hintern Abschnitte des Bulbus durch Entfernung der Sclerotica und Chorioidea blosslegte, und später, im Jahre 1625, zu Rom den Versuch an einem menschlichen Auge anstellte. Doch glaube ich hier erwähnen zu sollen, dass in dem von Helmholtz citirten berühmten Werke Scheiner's: Oculus, sive fundamentum opticum, das zu Innsbruck im Jahre 1619 erschien, von dieser Demonstrirung des Netzhautbildes im Thierauge eben so wenig die Rede ist, als in der gleichfalls erwähnten, im Jahre 1652 zu London veröffentlichten Ausgabe desselben Werkes, die nur einen unveränderten Abdruck der ersten darstellt.

[1]) Cap. V. 2.

Digitized by Google

Ausführlich wird die Demonstrirung des Netzhautbildes erst von Des Cartes (1637) besprochen und durch Abbildung erläutert. Was Gerling im Jahre 1839 empfiehlt, dass man nämlich am hintern Pol des Auges sämmtliche Häute, auch die Netzhaut entfernen, und in das Loch, in welchem der Glaskörper bloss liegt, ein sphärisch gebogenes Glasplättchen oder ein Stückchen Marienglas einschieben solle, um darauf das Netzhautbild aufzufangen und so gut sichtbar zu machen, hat auch schon Des Cartes 200 Jahre früher gethan, nur dass er einen matten Schirm, ein Stück Eierschale oder ein anderes durchscheinendes Medium, zum Verschlusse des Glaskörperloches vorzog. „Wenn man ein so präparirtes Auge, mit der Cornea gegen verschiedene von der Sonne hellbeleuchtete Objecte gerichtet, in einem ganz verfinsterten Zimmer in einen entsprechenden Ausschnitt des Fensterladens bringt, dann wird man, wenn man nach dem obturirenden Schirmchen blickt, „non sine voluptate et forsan etiam admiratione“ auf demselben eine Zeichnung finden, welche alle Objecte, die ausserhalb des Zimmers in einer bestimmten Richtung und Entfernung gelegen sind, hinlänglich genau wiedergibt [1]).“

War einmal das Auge als physikalisches Instrument aufgefasst, dann konnte es auch nicht fehlen, dass man es künstlich nachzuahmen versuchte. Ein solches künstliches Auge hat zuerst Huygens († 1695) beschrieben und abgebildet. Sein Auge zeigt (wie das reducirte Auge Listing's) nur Eine brechende Fläche, enthält also keine Linse, ist mit Wasser gefüllt, und besitzt eine der Iris entsprechende Blendung mit einem mässig grossen Loche in deren Mitte, letzteres aus dem Grunde „weil nur die Strahlen, die nächst der Axe einfallen, vollkommen gesammelt werden.“ „Dieser Bau des Auges“ meint Huygens [2]) „könnte als nicht fremd dem wirklichen angesehen werden, „etsi Opificis providentia ideo subtili ratione in his versata sit, ut non in omnibus artificium ejus assequi liceat.“

Mit Ausnahme der Ergründung der Rolle, welche jeder einzelne der das dioptrische System des Auges zusammensetzenden Theile bei der Strahlenbrechung im Innern des Auges spielt, war in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts der physikalische Theil der Theorie des Sehens zu jener Höhe gefördert, auf welcher er heute steht. Aber wie viele Anfechtungen musste diese Theorie noch erleiden! Von der einen Seite tauchten immer wieder Stimmen auf, die erklärten, dass es unsinnig sei, dass ein umgekehrtes Bild auf der Netzhaut entstehe, Stimmen, die

[1]) Dioptrice, Cap. V. 2.

[2]) Ch. Hugenii opuscula posthuma. Tom. I. Prop. 31.

Digitized by Google

lange nicht verstummten, die sogar noch 200 Jahre nach Kepler im Beginne dieses Jahrhunderts sich vernehmen liessen.

Eine andere Partei war dagegen, dass die Netzhaut die das Licht empfindende Schichte sei. Eine Entdeckung merkwürdiger Art hatte nämlich bei Männern, die einen guten Klang in der Wissenschaft haben, gewichtige Zweifel gegen die Ansicht Kepler's und Scheiner's geweckt, dass die Netzhaut das Licht wahrnehme. Es war dies eine Entdeckung, die ihrer Zeit ein wahrhaft ungeheures Aufsehen machte, die Auffindung des blinden Fleckes im Auge durch Mariotte. Mariotte fand nämlich, dass es eine Stelle in unserm Auge gebe, mit welcher wir absolut Nichts sehen. Wenn wir einen Gegenstand so vor unser Auge bringen, dass sein Bild auf die besagte Stelle fällt, so sehen wir ihn nicht. Es liegt diese Stelle dort, wo der Sehnerve in's Auge eintritt. Auf der Eintrittsstelle des Sehnerven, dem blinden oder Mariotte'schen Flecke, sind wir vollkommen blind, selbst das stärkste Licht, auf diesen Bereich concentrirt, ist nicht im Stande, die geringste Empfindung des Leuchtenden in unserem Auge zu erwecken. Mariotte folgerte aus seiner Entdeckung, dass die Netzhaut, die eine Ausbreitung des Sehnerven ist, nicht der für das Licht empfängliche Theil des Auges sein könne, denn gerade an der Eintrittsstelle des Sehnerven liegen ja die Fasern desselben massenhaft beisammen und gerade da ist das Auge vollkommen blind. An jener Stelle aber, wo der Sehnerve in's Auge tritt, muss er, um dies zu erreichen, die Aderhaut durchbrechen, an dieser Stelle findet sich in der Aderhaut ein Loch. Was folgt daraus?

Die Aderhaut ist jene Schichte, welche das Licht empfindet, denn so lautet die sophistische Schlussfolgerung: An der Stelle, wo die Sehnervenfasern am dichtesten liegen, sehen wir nicht, mithin kann der Sehnerve und seine Ausbreitung, die Netzhaut, für die Wahrnehmung des Lichtes nicht empfänglich sein, andererseits aber sehen wir mit allen Theilen des Auges, wo die Aderhaut sich findet, nur mit jenem nicht, wo sie fehlt, mithin ist die Aderhaut jenes Organ, welches das Sehen vermittelt. Dieser Ansicht Mariotte's schlossen sich mehrere, unter Anderen auch Méry an, er sprach sie aus in einem Vortrage, welchen er am 12. November 1704 in der königlichen Academie der Wissenschaften zu Paris „des mouvemens de l'iris et par occasion de la partie principale de la vue" hielt. Noch in neuer Zeit begegnen wir einem Physiker ersten Ranges, Sir David Brewster († 1868), welcher dieselbe Ansicht vertheidigte anno 1835.

Doch nein! Die Aderhaut ist nicht der empfindende Theil des Auges, es ist sicher, dass es die Netzhaut ist. Nur müssen wir nach-

Digitized by Google

weisen, welche Theile der Netzhaut es sind, deren Erregung die Empfindung des Leuchtenden hervorruft, und müssen erklären, wie es kommt, dass an der Eintrittsstelle des Sehnerven die Fasern auf die Einwirkung des Lichtes nicht reagiren. Das Letztere fällt nicht schwer. Die Fasern des Sehnerven als solche sind vollkommen unempfindlich gegen das Licht. Es gibt in der Netzhaut andere Gebilde, welche den ersten Angriffspunkt für dasselbe abgeben. Es sind dies die in der äussersten Schichte derselben, der sogenannten Jacob'schen Haut gelegenen cylindrischen Stäbe und flaschenförmigen Zapfen, welche wie Palisaden dicht neben einander stehen. Die Stäbchen- und Zapfenschichte der Netzhaut ist es, welche wir als von der grössten Wichtigkeit für die Physiologie des Sehens betrachten müssen.

„Als empfindend kennen wir nur die Nerven"; sagt Brücke 1844 in seiner berühmten Arbeit über die stabförmigen Körper, [1]) „die Stäbe und Zapfen sind aber keine Nerven; es wäre desshalb eine Hypothese von unerhörter Kühnheit, wenn man sie als lichtempfindend betrachten wollte." Heutzutage ist diese zur Zeit des Brücke'schen Ausspruches unerhört kühne Hypothese beinahe zur Gewissheit geworden. Allerdings, würde Max Schultze mit seinen neueren Beobachtungen Recht behalten, dann würde man jetzt auf den Brücke'schen Standpunkt, der die äusserste Schichte der Netzhaut für einen Spiegelapparat erklärte, zurückkehren müssen. Die Sache ist nämlich die. Nach Max Schultze [2]) hätte man sich den Zusammenhang der Fasern des Opticus, welche die innerste nervöse Schichte der Netzhaut bilden, mit den Stäbchen und Zapfen so vorzustellen, dass jede Faser des Opticus in eine Zelle der Nervenzellenschicht eingeht, dass aus dieser Zelle nach entgegengesetzter Richtung gegen die äusseren Schichten hin sich fein verästelnde Fortsätze ausstrahlen, „welche die moleculare Schicht in verwickelten Bahnen durchsetzen, in der innern Körnerschicht in noch gänzlich unbekannte Beziehungen zu deren nervösen Zellen treten, um sich dann hier und in der Zwischenkörnerschicht zu den Stäbchen- und Zapfenfasern zu gruppiren." Diese Stäbchen- und Zapfenfasern sollen nun an der Membrana limitans externa neuerdings in eine grössere Anzahl feinster Fibrillen zerfallen, welche durch Löcher der genannten Membran hindurchtreten und auf der Oberfläche der Stäbchen und Zapfen festgewachsen bis gegen deren Ende verlaufen. In welcher Art diese feinsten Fäserchen, deren Anzahl Schultze auf 40—50 im Umkreise eines Zapfens und auf

[1]) Müller's Archiv.

[2]) Dessen Archiv, II. Band. 1866, pag. 217, und Retina in Stricker's Gewebelehre, pag. 987.

Digitized by Google

8—12 in jenem eines Stäbchens schätzt, mit der Substanz des Zapfens oder Stabes in Verbindung treten, bleibt von dem genannten Forscher noch dahingestellt [1]). Was die Stäbe und Zapfen selbst anbelangt, so verdanken wir gerade den ausgezeichneten Untersuchungen Schultze's die wichtigsten Aufklärungen über diese Gebilde. Sowohl Stab als Zapfen besteht, wie zuerst Braun gezeigt hat, aus einem Innen- und einem Aussengliede, die durch eine scharfe Grenze von einander getrennt sind. Die Innenglieder der Zapfen sind birnförmig, die der Stäbe mehr cylindrisch. Letztere Gestalt haben im Allgemeinen auch die Stäbchen-Aussenglieder, während die Aussenglieder der Zapfen eine konische Form mit nach aussen gerichteter Spitze darbieten. Die Innenglieder der Stäbe und Zapfen zeigen nach Schultze's allerneuesten Angaben [2]) eine fibrilläre Structur; die schwach Licht brechende Grundsubstanz, aus welcher sie grossentheils bestehen, scheint sich ununterbrochen in das Aussenglied fortzusetzen; in diesem, dem Aussengliede, aber ist in die genannte Grundsubstanz eine grosse Anzahl stark- und doppelbrechender Scheiben ein- und dicht übereinander gelagert, so dass das macerirte Aussenglied in eine Rolle dieser Scheiben zerfällt.

In Betreff der Function und der Bedeutung dieser Endgebilde hat Max Schultze seine Ansicht wiederholt geändert. Zuerst glaubte er, dass nur das Innenglied als Nervenende, das Aussenglied aber als katoptrischer Apparat anzusehen sei, dann nach Entdeckung der Plättchenstructur des Aussengliedes acceptirte er die von Hensen (1865) vertretene Ansicht, (die Schultze eigentlich zu allem Anfang gehegt, aber dann wieder aufgegeben hatte), dass in den Aussengliedern die Empfindung des Lichtes und der Farbe erzeugt werde. Zu dieser Zeit hatte Max Schultze in Uebereinstimmung mit den meisten übrigen Histologen angenommen, dass das Innenglied sich direct in die unzweifelhaft nervöse Zapfen-, resp. Stäbchenfaser fortsetze, mithin die Stäbe und Zapfen die letzten Endigungen des Sehnerven seien. Die neue Beobachtung Schultze's jedoch, dass die Zapfen- und Stäbchenfasern in Fibrillen zerfallen, die auf der Oberfläche der Endgebilde lagern, und also nicht an deren Basis in sie übergehen, würde natürlich die Zapfen und Stäbe wieder aus der Reihe der nervösen Organe streichen und sie nur als eigenthümliche Endapparate erscheinen lassen, welche auf eine noch ungekannte Weise die Aetherschwingungen auf die mit ihnen verbundenen Nerven übertragen. Wir ständen dann, wie schon früher erwähnt, beiläufig wieder auf dem Standpunkte Brücke's.

[1]) Dessen Archiv, V. Band 1869. pag. 379.

[2]) Retina in Stricker's Gewebelehre, pag. 1003.

Digitized by Google

Allein es kann nicht unerwähnt gelassen werden, dass Schultze's diesbezügliche Beobachtungen bisher nicht bestätigt werden konnten.

Landolt [1]) konnte mit den ausgezeichnetsten Vergrösserungen die auf die Oberfläche beschränkte Längsstreifung, welche den Nervenfasern entsprechen würde, an den Stäben der Retina der Amphibien nicht wahrnehmen und Merkel [2]) erklärt die Schultze'schen Nervenfibrillen für nichts anderes als für Faltungen einer bindegewebigen Hülle der Stäbe und Zapfen oder eckige und hervortretende Kanten der mit Reagentien behandelten Gebilde.

Endlich und schliesslich bin ich in der Lage, hier noch nachträglich bemerken zu können, dass Schultze in seiner neuesten Publikation die Ansicht Merkel's, ohne dieselbe zu kennen, selbstständig aufstellt und nun wieder darauf zurück kommt, „es könnte möglicherweise die Nervensubstanz mit den Innengliedern abschliessen und das Aussenglied einen nicht nervösen physikalischen Hilfsapparat darstellen [3])."

Ich habe Ihnen, meine Herren! eine gedrängte Uebersicht über den gegenwärtigen Stand unserer Kenntnisse in Betreff des Baues und der Bedeutung der Elemente der Jacob'schen Membran gegeben und spreche mich selbst dahin aus, dass die Stäbe und Zapfen die Endigungen der Sehnervenfasern darstellen, ferner dass, wie schon das Verhalten der Sehschärfe des menschlichen Auges, wovon wir später handeln werden, es wahrscheinlich macht, in den Aussengliedern der Stäbe und Zapfen das Licht empfunden und das deutliche Bild auf der inneren Fläche des Aussengliedes entworfen wird. Es erfordert diese letztere Angabe noch folgende Betrachtung. Wenn Kepler sich für das deutliche Sehen einfach mit der Forderung begnügte, dass auf der Netzhaut ein scharfes Bild der einzelnen Leuchtpunkte entstehe, so müssen wir fragen, in welcher Schicht der Retina das deutliche Bild liegen müsse, soll die Wahrnehmung möglichst genau sein. Wenn wir die Stab- und Zapfenschicht als die empfindende betrachten, so ist es klar, dass auf oder in dieser das deutliche Bild zu liegen habe. Gewöhnlich verlegt man das deutliche Bild auf dieselbe, d. h. an deren Vorderfläche. Sind (Fig. 1) *a* und *b* zwei neben einander stehende Stäbe oder Zapfen und vereinigen sich die Strahlen, die einem leuchtenden Punkte angehören, auf der Vorderfläche in *o*, die Strahlen eines andern Leuchtpunktes im Punkte *p* des Nachbarstäbchens, dann wird von den Strahlen *o* ausschliesslich das Stäbchen *a*, von den Strahlen *p* ausschliesslich das Stäbchen *b* erregt. Die Strahlen, die, nach-

[1]) Schultze's Archiv VII. 1. pag. 96.

[2]) Reichert und Du Bois-Reymond's Archiv 1870. 5. Heft. pag. 642.

[3]) Retina, pag. 1002 und 1006.

Digitized by Google

dem sie sich in *o* und *p* zum Bilde gesammelt, sich wieder durchkreuzen, können doch, wie schon Brücke zeigte, aus ihrem Stäbchen nicht mehr hinausgelangen, also das Nachbarstäbchen nicht erregen, weil sie wegen ihrer schiefen Incidenz an der Grenzwand, in das Innere des Stabes hinein, total reflectirt werden.

So bleibt die Erregung durch den leuchtenden Punkt *o* auf das Stäbchen *a*, die durch den Leuchtpunkt *p* auf das Stäbchen *b* beschränkt, und auf diese Weise wird die möglichste Isolirung des Sinneseindrucks angestrebt.

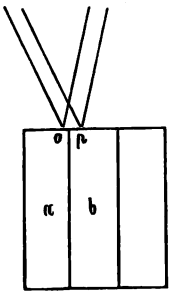
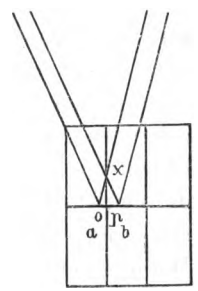


Fig. 1.



Würde das deutliche Bild dagegen z. B. in der Mitte des Stäbchens entworfen, dann würde der Strahl *rp*, welcher dem Bildpunkte *p* angehört bei seinem Durchgange durch das Stäbchen *a* an der Grenzfläche in *x* nach *o* total reflectirt, und es würde das Stäbchen *a* nicht blos von dem Strahle *mo*, der dem Punkte *o* angehört, sondern auch von dem Strahle *rp* des Punktes *p*, und in ähnlicher Weise würde das Stäbchen *b* von dem Strahle *sp* des Punktes *p* und dem Strahle *no* (des Punktes *o*), der in *x* seine totale Reflexion nach *p* erfährt, afficirt und dadurch die Isolirung der Empfindung für die beiden Leuchtpunkte aufgehoben.

Da nun aber, wie wir sehen werden, thatsächlich, damit die Isolirung zweier Lichteindrücke stattfinde, die Breite eines ganzen Zapfens zwischen den beiden Bildpunkten gelegen sein muss und anderseits die Breite des Strahlenkegels, welcher einem einzelnen Leuchtpunkte entspricht, für den Fall, dass das Bild des Punktes in der Mitte des Zapfens läge, die Breite eines Zapfendurchmessers an seiner Basis nicht überschreitet und die Nachbarzapfen daher nicht mit erregt zu werden brauchen: so sind wir, falls andere Rücksichten dafür sprechen, in der Annahme, dass das deutliche Bild auf der Grenzfläche zwischen Innen- und Aussenglied entworfen wird, durch Nichts behindert.

Wir haben bei unseren bisherigen Betrachtungen nur bona fide angenommen, dass Stäbe und Zapfen den ersten Angriffspunkt für das Licht abgeben, und es ist desshalb unsere Pflicht, auch die Beweise für diese Behauptung beizubringen. Der schönste Beweis wäre der, wenn es gelingen würde, den directen Uebergang einer Sehnervenfaser durch die verschiedenen Schichten der Netzhaut hindurch bis in ein Stäbchen

Digitized by Google

oder einen Zapfen zu verfolgen. Man glaubte auch in der That einen solchen Uebergang gesehen zu haben, allein es war dies blos eine schöne Illusion. Wenn sich die Sache so verhält, wie sie Max Schultze sich vorstellt und wir früher angegeben haben, dann ist wohl auch die Hoffnung geschwunden, dass dieser Nachweis jemals gelingen werde. Trotzdem bietet die Anatomie zwei Thatsachen als mächtige Stützen für die allgemeine Annahme und die Physiologie springt ausserdem noch mit trefflichen Gründen helfend bei.

Die Anatomie zeigt, dass die von den Stäben und Zapfen ausgehenden Fasern, besonders die letzteren, die eine verhältnissmässig bedeutende Breite aufweisen, sich von den unzweifelhaften Endfasern des Opticus in der Faserschicht der Retina durch Nichts unterscheiden; sie zeigt ferner, dass an jener Stelle, an welcher die schärfsten Wahrnehmungen stattfinden, in der fovea centralis des gelben Flecks, von allen Schichten der Netzhaut eigentlich nur die Zapfenschichte sich vorfindet. In der ganzen Macula lutea finden sich überhaupt, wie Henle entdeckt hat, nur Zapfen und keine Stäbchen, so dass den Zapfen eine viel höhere optische Dignität, wie den Stäben zukommt und sie nach Max Schultze vielleicht allein die Farbenempfindung vermitteln.

In der Fovea erreichen die Zapfen eine besondere Feinheit d. i. einen besonders geringen Durchmesser, und andererseits eine besondere Länge. In jedem der Diameter der Fovea finden sich 50—60 Zapfen von gleichem, unverändertem Durchmesser. Dieser beträgt 3 Tausendstel Millimeter an ihrer Basis. Die Zapfen, die in der Peripherie des gelben Fleckes stehen, weisen einen solchen von 6 Tausendstel Millimeter auf, während anderseits die grösste Länge der Zapfen im Grunde der Fovea 0.118 M^m, d. i. mehr als dem Doppelten der Länge der Zapfen der peripheren Theile der Retina gleich ist. (M. Schultze [1]).

Von physiologischen hieher bezüglichen Thatsachen muss vor Allem jene aufgeführt werden, welche sich bei der Messung der Verschiebung der Netzhautgefässschatten im Gesichtsfelde ergibt. Erzeugt man mit Hilfe einer stark brechenden Convexlinse das scharfe Bild einer intensiven Leuchtquelle auf der äussern Fläche der Sclerotica, so sieht das in einen dunkeln Raum blickende Auge das Gesichtsfeld nunmehr erhellt und in demselben einen dunkeln Gefässbaum auftauchen. Es fällt jetzt Licht von einer ganz ungewöhnlichen, seitlich gelegenen Stelle auf die Netzhautgefässe, diese werfen ihre Schatten auf Partien der hinter ihnen gelegenen percipirenden Schichte, auf welche sie unter

[1]) Dessen Archiv, II. Band pag. 229 und Retina, pag. 1022.

Digitized by Google

gewöhnlichen Verhältnissen niemals fallen, dadurch werden sie sichtbar. Wenn das Lichtbild auf der Lederhaut hin und her wandert, so bewegt sich auch der dunkle Gefässbaum im Sehfelde. Was folgt daraus? Die grösseren Gefässe der Netzhaut liegen in deren innersten Schichte, jener der Nervenfasern nämlich. Wenn überhaupt ein Gefässschatten zu Stande kommt, so beweist dies, dass die das Licht wahrnehmende Partie in einem bestimmten Abstande hinter der Nervenfaserschichte gelegen sein müsse. Es ist klar, dass je grösser dieser Abstand, desto grösser die scheinbare Bewegung der Gefässschatten sein wird. Nehmen Sie, meine Herren! eine brennende Kerze, stellen Sie zwischen dieselbe und einen lichten Schirm, ein schmales, schattenwerfendes Object, z. B. einen Bleistift, so wird bei einer bestimmten Excursion, welche Sie die Lichtflamme machen lassen, der Schatten einen um so grössern Weg zurücklegen, je weiter der Stift vom Schirme absteht, und einen um so geringeren, je mehr er dem Schirme genähert ist. Umgekehrt werden Sie, um eine und dieselbe Ortsveränderung des Schattens zu bezwecken, eine um so grössere Bewegung mit der Kerze vornehmen müssen, je näher das Object dem Schirme steht. Endlich ist es klar, dass, ist die Grösse der Excursion des Leuchtobjectes und der dabei eintretenden des Schattens gegeben, das schattenwerfende Object nur in einer einzigen bestimmten Entfernung vom Schirme sich befinden kann. Aus der scheinbaren Bewegung der Netzhautgefässschatten beim oben erwähnten Versuche ergibt sich die wirkliche Grösse der Verschiebung derselben auf der Netzhaut und aus dieser Grösse, sowie aus der leicht mit dem Cirkel abzumessenden der Excursion des Leuchtbildes auf der Sclerotica lässt sich der Abstand des schattenwerfenden Objectes, der Netzhautgefässe, von dem das Licht percipirenden Schirme berechnen. Dies that Heinrich Müller und es zeigte sich, dass diese Distanz mit jener, in welcher die Stäbchenschichte hinter der Gefässausbreitung liegt, soweit übereinstimmt, dass dieser Versuch als ein vollkommen genügender betrachtet werden kann.

Sind die Stäbe und Zapfen für die Wahrnehmung des Lichtes unentbehrlich, sind sie es allein mit Ausschluss aller übrigen Elemente der Netzhaut (also auch der Nervenfasern), in welchen die Vibrationen des Lichtäthers die Empfindung des Leuchtenden erzeugen können, so wird die nothwendige Folge hiervon sein, dass wir mit jener Stelle Nichts sehen, an welcher sich keine Stäbe und Zapfen finden, dass wir demnach an der Eintrittsstelle des Sehnerven blind sind. Es wird aber die Netzhaut auch der Lichtempfindung stellenweise entbehren müssen, wenn es vorkommen sollte, dass an Stellen die Stäbe und

Digitized by Google

Zapfen von einem undurchsichtigen Gewebe gedeckt würden, in Folge dessen das Licht nicht bis zu ihnen vordringen könnte. Es ereignet sich dies in der That bisweilen unter physiologischen Verhältnissen. Die Fasern des Opticus, welche nach ihrem Durchtritte durch die Lamina cribrosa aufgehört haben, markhaltig zu sein, als vollkommen diaphane, marklose Fäden in die Netzhaut übergehen, nehmen bisweilen in grösserem oder geringerem Maasse am Rande des Opticuseintrittes wieder Mark an und behalten es eine Strecke weit während ihres Netzhautverlaufes. Otto Becker zeigte zuerst, dass der blinde Fleck in derartigen Augen eine Vergrösserung, der Ausdehnung der glänzenden flammigen Figur, welche in derartigen Fällen bei der Untersuchung mit dem Augenspiegel an die Papille sich anschliesst, genau entsprechend, erfährt. An dieser Stelle wird das Licht durch die undurchsichtige Faserschischte vollkommen aufgehalten, an dieser Stelle können die dahinter gelegenen Stäbe nicht erregt, kann die Empfindung des Leuchtenden nicht erweckt werden.

Die ganze Reihe wenigstens der gröberen physikalisch-physiologischen Vorgänge, wie sie beim Sehacte auf einander folgen, ist uns nun klar. Von dem eben betrachteten Objecte wird durch das lichtbrechende System des Auges ein scharfes, umgekehrtes und dabei verkleinertes Bild auf der Zapfenschichte der Fovea centralis der Netzhaut erzeugt. Die Stäbe und Zapfen werden dadurch auf eine Weise, die wir trotz vieler hierüber aufgestellter Hypothesen nicht kennen, zur Empfindung des Lichtes erregt, die Erregung wird von ihnen durch ein besonderes die Netzhaut durchsetzendes Fasersystem auf die Fibrillen des Sehnerven übertragen, durch die letzteren, welche im ausgezeichneten Grade tauglich sind, den Lichtimpuls zum Gehirne zu befördern, selbst aber für die Wahrnehmung des Lichtes vollkommen unempfindlich sind, zum Centralorgane geleitet und hier in den dazu bestimmten Theilen zum Bewusstsein gebracht.

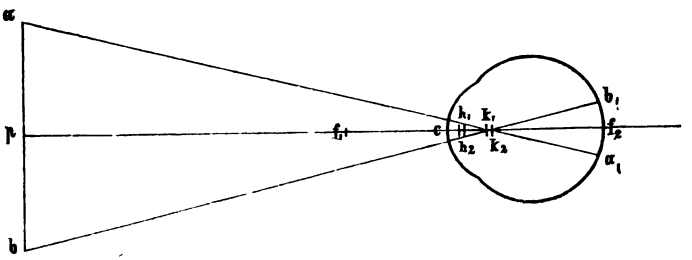
Insoweit als es bisher geschehen, mussten wir in die Theorie des Sehactes eingehen, denn die Folge aller Refractions- und Accommodationsanomalien ist die, dass das Netzhautbild unter Umständen nicht an jener Stelle oder in jener Deutlichkeit erscheinen kann, wie es eine scharfe Wahrnehmung erfordert, und all' unser Streben, das Endziel unserer Studien auf dem genannten Gebiete unserer Wissenschaft ist dahin gerichtet, dass wir auf irgend eine Weise mit Zuhilfenahme optischer Behelfe das Bild auf die richtige Stelle der Netzhaut werfen und bewirken, dass es auf derselben in möglichster Präcision erscheine.

Die physikalische Construction des Auges müssen wir jedoch noch etwas näher beleuchten. Das Auge ist ein zusammenge-

Digitized by Google

setztes dioptrisches System, aus dem die Cornealkrümmung darbietenden Kammerwasser — die Cornea als solche hat wegen ihrer uhrglasförmigen Gestalt einen gänzlich zu vernachlässigenden Einfluss auf den Gang der Lichtstrahlen — und der Linse bestehend. Das erste, vor dem brechenden Systeme gelegene Medium ist für gewöhnlich Luft, das letzte, jenes, in welchem die Strahlen nach der letzten Brechung verlaufen, ist Glaskörper. Die in jedem zusammengesetzten optischen Systeme zu unterscheidenden Cardinalpunkte, die beiden Haupt-, Knoten- und Brennpunkte, haben zwar nicht in jedem Auge genau dieselbe Lage, allein für theoretische Betrachtungen ist es unumgänglich nothwendig, sich an ein schematisches Auge zu halten. Ein solches hat Listing aufgestellt und Helmholtz acceptirt, indem er nur in Betreff des Abstandes der Linsenflächen von der Cornea und der Dicke der Linse einige kleine Modificationen anbrachte. In diesem Auge (Fig. 2) beträgt die hintere

Fig. 2.



Brennweite $h_2 f_2$ 19·875 M$^{m.}$, d. h. parallel auf die Hornhaut von vorne auffallende Strahlen werden 19·875 M$^{m.}$ hinter einem Punkte, h_2, der den Namen des 2. Hauptpunktes führt und 2·356 M$^{m.}$ hinter der Vorderfläche der Cornea liegt, in einem Punkte, dem 2. Brennpunkte, f_2, vereinigt, während Strahlen, die parallel aus dem Glaskörper kommend, auf die Hinterfläche des dioptrischen Systems fallen, nach ihrer letzten Brechung in dem 1. Brennpunkte f_1 ihre Vereinigung finden, einem Punkte, der 14·858 M$^{m.}$ vom 1. Hauptpunkte, h_1, absteht, welch' letzterer 1·940 M$^{m.}$ hinter der Vorderfläche der Cornea gelegen ist. Die beiden Hauptpunkte stehen ungefähr in der Mitte der vorderen Augenkammer und sehr nahe an einander, nur vier Zehntheile eines Millimeters (0·416 M$^{m.}$) von einander entfernt.

Ein wichtiges Punktpaar haben wir noch zu betrachten, die beiden Knotenpunkte. Sie liegen sehr nahe der hintern Linsenfläche, der eine etwas vor, der andere hinter ihr, 6·957 und 7·373 M$^{m.}$ vom Cornealscheitel, von einander so weit wie die Hauptpunkte abstehend. Die

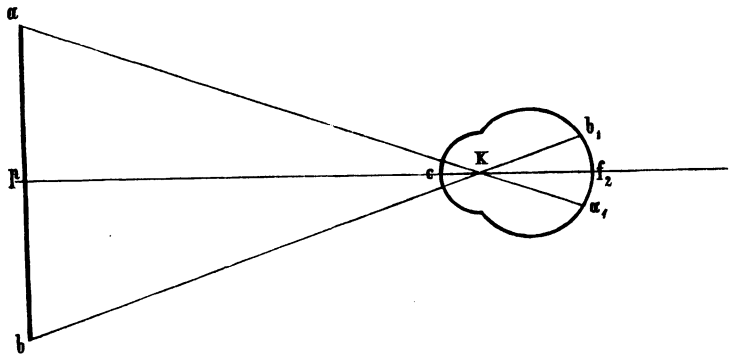
Digitized by Google

Kenntniss ihrer Lage genügt, um die Grösse des Netzhautbildes eines Objectes zu bestimmen. Ist $a\,b$ das leuchtende Object so finden wir, vorausgesetzt, dass ein genaues Bild auf der Netzhaut entworfen wird, die Grösse desselben, wenn wir von den Endpunkten a und b des Objectes gerade Linien zum 1. Knotenpunkte, k_1, und vom 2. Knotenpunkte, k_2, mit diesen Parallele ziehen, und die letzteren so weit verlängern, bis sie die Netzhaut in a_1 und b_1 schneiden. Dann stellt $a_1\,b_1$ die Grösse des Netzhautbildes dar.

In Listing's schematischem Auge ist das Ideal des Auges verwirklicht. Es werden in demselben die parallel auf die Cornea auffallenden, also von einem unendlich entfernten Leuchtpunkte kommenden Strahlen durch das dioptrische System des Auges wieder in Einem Punkte, und zwar auf der Netzhaut vereinigt, daher die letztere durch den 2. Brennpunkt geht. Die Länge eines solchen Auges, $c\,f_2$, von dem Vorderscheitel der Hornhaut bis zur empfindenden Netzhautschichte gerechnet, beträgt 22·231 M$^{m.}$, da ja $c f_2 = c\,h_2 + h_2 f_2 =$ 2·356 + 19·875 = 22·231 M$^{m.}$

Das Listing'sche schematische Auge können wir noch bedeutend vereinfachen. Listing selbst stellte noch ein sogenanntes reducirtes Auge auf, und Donders reducirte es weiter, indem er die Listing'schen Zahlen abrundete. Nach ihm können wir das reducirte Auge durch eine einzige brechende Fläche (Fig 3), deren Krümmungshalbmesser

Fig. 3.



5 M$^{m.}$ beträgt, vor welcher sich Luft und hinter welcher sich Wasser befindet, darstellen. Haben wir es mit einer einzigen brechenden Fläche zu thun, dann fallen die beiden Haupt- sowie die beiden Knotenpunkte je in Einen Punkt zusammen. Der Eine Hauptpunkt liegt in dem Scheitel, der Eine Knotenpunkt in dem Krümmungscentrum der brechenden Flä-

Digitized by Google

che, daher $ck = 5$ M$^{m.}$ Die vordere Brennweite, d. i. der Abstand des vorderen Brennpunktes vom 1. Hauptpunkte, in unserm Falle vom Scheitel der brechenden Fläche beträgt 15 M$^{m.}$, während die hintere Brennweite, die Entfernung des 2. Brennpunktes vom 2. Hauptpunkte, id est wiederum von der brechenden Fläche 20 M$^{m.}$ gleich kommt und $kf_2 = 15$ M$^{m.}$ ist. Das Auge soll wiederum die Bedingung erfüllen, dass parallele Strahlen auf der Netzhaut vereinigt werden, es muss demnach der hintere Brennpunkt in derselben liegen, die Augenaxe also eine Länge von 20 M$^{m.}$ haben.

Der Sinn eines derartigen reducirten Auges ist der, dass wir es bei den dadurch wesentlich vereinfachten Rechnungen statt des schematischen verwenden können, indem es von Objecten Bilder entwirft, die den vom schematischen Auge erzeugten als in jeder Beziehung gleichend angesehen werden können. Nur Ein Beispiel mag erläutern, mit welcher Leichtigkeit wir etwa die Grösse des Netzhautbildes eines Objectes von bestimmtem Durchmesser und bestimmtem Abstande vom Auge mit Zugrundelegung des reducirten Auges berechnen können. Es werde (Fig. 3) vom Objecte ab ein deutliches Bild auf der Netzhaut hergestellt. Wir finden die Grösse des Bildes, wenn wir von den Punkten a und b durch den Knotenpunkt k des reducirten Auges A die geraden Linien aa_1 und bb_1 bis zur Retina ziehen. Wie gross ist das Bild $a_1 b_1$, im Vergleiche zum Objecte? Es verhält sich nach einfachen geometrischen Regeln die Grösse des Objectes, ab, zur Grösse des linear gedachten Bildes, $a_1 b_1$, wie der Abstand des Objectes vom Knotenpunkte, pk, zum Abstande des Bildes von demselben Punkte, $f_2 k$, also

$$ab : a_1 b_1 = pk : f_2 k.$$

Der Abstand des Objectes vom Auge, pc, betrage z. B. 11995 M$^{m.}$, mithin ist $pk = pc + ck = 11995 + 5 = 12000$ M$^{m.}$

mithin $$ab : a_1 b_1 = 12000 : 15 = 800 : 1,$$

also $$a_1 b_1 = {}^1/_{800}\, ab.$$

Da nun eben das reducirte Auge die Bedeutung des wirklichen menschlichen haben soll, so folgt daraus, dass das Netzhautbild eines 11995 M$^{m.}$ von einem Auge, das im Ruhezustande parallele Strahlen auf seiner Netzhaut zu vereinigen vermag, abstehenden Objectes einen 800mal geringeren Durchmesser als das Object selbst hat, wobei wir die Aenderung der Lage des Knotenpunktes durch die Accommodation für den 11995 M$^{m.}$ entfernten Punkt vorläufig vernachlässigt haben.

Digitized by Google

Zweite Vorlesung.

Begriff der Refraction und Accommodation des Auges. Veränderungen im Auge während der Accommodation.

Meine Herren! Zunächst ist es jetzt an uns festzustellen, was wir unter Refraction und Accommodation des Auges zu verstehen haben. Denken wir uns ein frisch aus der Orbita herausgenommenes Menschenauge, so kommt demselben vermöge seines anatomischen Baues eine bestimmte Brechkraft oder Refraction zu, d. h. es werden parallele Strahlen, die auf die Cornea fallen, in einer bestimmten Entfernung hinter derselben vereinigt. Je nachdem der dioptrische Apparat des Auges das Licht stärker oder schwächer bricht, wird der Vereinigungspunkt genannter Strahlen in geringerer oder grösserer Entfernung hinter der Cornea liegen. Das Auge ist demnach in dieser Hinsicht ganz einem künstlichen optischen Instrumente zu vergleichen, welches ein bestimmtes und insolange unveränderliches Brechungsvermögen besitzt, als die componirenden Theile in ihrem Brechungsvermögen, der Krümmung ihrer Oberflächen und ihrem gegenseitigen Abstande keine Aenderung erfahren. Nach dem Gesagten ist die Refraction des Auges vollkommen unabhängig davon, dass es ein Theil eines lebenden Organismus ist; dem todten, sonst nicht veränderten Auge kommt dieselbe Brechkraft, wie dem lebenden zu.

Wir können uns, meine Herren! wenn wir vom schematischen und reduzirten Auge ausgehen, den dioptrischen Apparat desselben durch eine Glaslinse von 15 M^m. Brennweite, vor und hinter welcher sich Luft befindet, vergegenwärtigen. Eine derartige Glaslinse bricht das Licht in ganz analoger Weise, wie das dioptrische System des Auges, erzeugt von Objecten, die in einer bestimmten Entfernung sich finden, ebenso grosse Bilder wie das Auge. Allein, wenn auch demnach der Apparat des todten Auges oder des lebenden, in welchem alle lebendigen Kräfte ruhen, oder durch Giftwirkung zur Ruhe verdammt sind, einer Glaslinse zu vergleichen ist, so ist dies doch mit dem des lebenden Auges, in welchem die Kräfte in normaler Weise thätig wirken, durchaus nicht der Fall.

Nehme ich (Fig. 4) eine Convexlinse von 3″ B. W., so fällt das Bild eines in der Linsenaxe gelegenen unendlich weit entfernten Lichtpunktes *a* in deren Brennpunkt, etwa auf einen daselbst befindlichen Schirm *AB*. Rückt der Leuchtpunkt in endliche Entfernung, so rückt

Digitized by Google

das Bild über den Brennpunkt hinaus. So liegt es z. B. nicht 3, sondern 6 Zoll hinter der Linse, in b, falls a nach a_1 in die Entfernung von 6″ von der Linse gerückt ist. Will ich bewirken, dass das

Fig. 4.

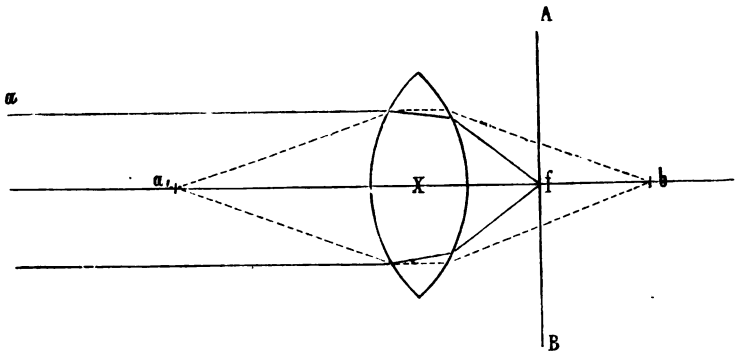
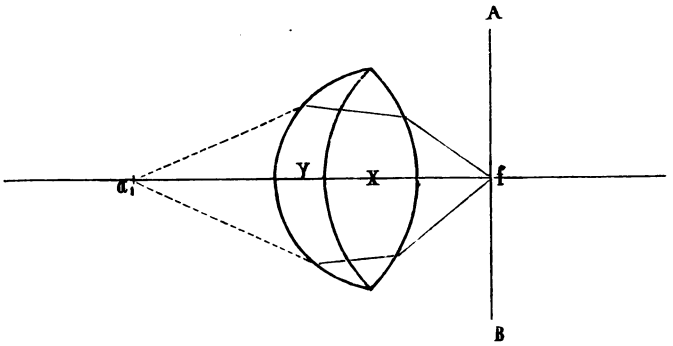


Bild des Leuchtpunktes auch jetzt noch auf den Schirm falle, so muss ich (Fig. 5) auf die Linse x noch eine Linse y von 6.″ B. W. auflegen. Die Strahlen, die von a_1 ausgehen, werden durch die 1. Linse y, da

Fig. 5.



sie von deren Brennpunkte ausgehen, parallel gemacht, fallen als solche auf die Linse x, von welcher sie nunmehr in deren Brennpunkte, also auf dem Schirme gesammelt werden können, daher jetzt, sowie früher von a, auch von a_1 ein deutliches Bild in f erzeugt wird.

Nicht die Linse x, sondern das lebende Auge möge nun der lichtbrechende Apparat sein, welcher von dem unendlich entfernten Leuchtpunkte a ein Bild formirt. Es werden sich die Strahlen im hintern Brennpunkte des Auges einigen, und wenn die Zapfenschichte der Netzhaut

Digitized by Google

gerade durch den hinteren Brennpunkt des Auges geht, so wird auf derselben ein scharfes Bild von a entworfen. Rücke ich jetzt den Punkt a nach a_1, so würde das Bild, falls das Auge seine Refraction nicht ändern könnte, hinter die Zapfenschichte fallen müssen, auf derselben würde kein deutliches Bild sich ausprägen. Während der Punkt a vom Auge deutlich und scharf gesehen wurde, würde a_1 in undeutlichem, verschwommenem Bilde erscheinen. Die Erfahrung lehrt aber, dass das normale jugendliche Auge auch in der Entfernung von 6″ vollkommen deutlich sehe, also auch noch von a_1 ein vollkommen deutliches Bild auf der Stabschichte formire. Wie ist dies möglich?

Meine Herren! Wir sagten, dass wir uns das dioptrische System des Auges durch eine Convexlinse von 15 M$^{m.}$ B. W. vorstellen können. Steht ein Schirm 15 M$^{m.}$ hinter dem optischen Centrum dieser Linse, so werden die Strahlen des Leuchtpunktes a sich in einem Punkte des ersteren sammeln, und damit hierauf auch die Strahlen des in 6″ Abstand gelegenen Punktes a_1 sich dorthin vereinigen, muss zu der den brechenden Apparat des Auges darstellenden Convexlinse noch eine solche von 6″ B. W. hinzugegeben werden, sonst liegt die deutliche Wahrnehmung des Punktes a_1 nicht im Bereiche physikalischer Möglichkeit.

Da das Auge nun factisch nicht blos einen Punkt a, sondern auch einen Punkt a_1 deutlich zu sehen vermag, so folgt daraus mit zwingender Nothwendigkeit, dass das Auge die Fähigkeit besitzt, sich selbst eine Linse zuzulegen, welche in dem genannten Falle einer Glaslinse von 6″ B. W. gleichwerthig ist. Das lebende Auge ist also im Stande, selbstthätig seine Refraction zu ändern, zu jener Linse, welche es in Folge seiner Refraction repräsentirt, sich selbstthätig, durch in ihm wirkende Muskelkräfte nämlich, Linsen verschiedener Brennweiten zuzulegen. Diese letztere Eigenschaft des Auges, wodurch es ihm möglich wird, in verschiedenen Entfernungen gelegene Objecte in auf einander folgenden Zeiträumen deutlich zu sehen, diese Eigenschaft, welche nicht aus dem anatomischen Baue des Auges resultirt, sondern der Ausdruck einer lebendigen im Auge thätigen Kraft ist, ist das Accommodationsvermögen des Auges. Besässe das Auge keine Accommodation, so könnte es demnach nur in einer einzigen Entfernung deutlich sehen, sowie ja auch eine Glaslinse auf einem in unbeweglichem Abstande von ihr befindlichen Schirme nur von Objecten, die in einer einzigen bestimmten Entfernung von ihr sich finden, deutliche Bilder zu entwerfen vermag.

Digitized by Google

Erwähnt sei hier, dass die Ausdrücke: Accommodation und Adaptation des Auges als Synonyma gebraucht wurden und auch wohl noch gebraucht werden, doch rathen wir nach Aubert's Vorgange, unter Adaptationsvermögen des Auges ausschliesslich die Fähigkeit desselben, sich verschiedenen Lichtintensitäten anzupassen, unter Accommodation dagegen seine Fähigkeit, den dioptrischen Apparat für verschiedene Enfernungen einzustellen, zu verstehen.

Ist der Begriff der Accommodation festgestellt, so haben wir noch zu erörtern, welchem Mechanismus das Auge diese wunderbare Eigenschaft zu verdanken hat. Indem wir sagten, dass wir uns die Accommodation in der Weise vorzustellen haben, dass das Auge seinem in Form einer convexen Glaslinse gedachten dioptrischen Systeme selbst eine Linse beifügen könne, haben wir den Vorgang angedeutet, wie er in der That in ganz ähnlicher Weise im lebenden Auge statt hat. Die Accommodation kommt nämlich dadurch zu Stande, dass die Linse im Auge sich gleichsam eine Linse vorsetzt und zwar dadurch, dass ihre vordere Fläche an Convexität zunimmt und ihr vorderer Pol vorrückt, sich der Hornhaut nähert, während die hintere Fläche ebenfalls und zwar begreiflicher Weise nach rückwärts etwas convexer wird, wobei der hintere Linsenpol an seiner Stelle bleibt, oder gleichfalls, wenn wir den Experimenten von Hensen und Voelckers [1]) an lebenden Hunden Rechnung tragen, seinen Ort um ein Geringes verlässt, nämlich gegen den Glaskörper zurückrückt.

Von der Zunahme der Krümmung der vordern Linsenfläche beim Nahesehen überzeugt man sich durch eine geeignete Beobachtung der von ihr entworfenen Reflexe. Die Hornhaut, wie die vordere und hintere Linsenfläche wirken nicht blos als brechende, sondern auch als spiegelnde Apparate. Als Convexspiegel von scharfer Krümmung erzeugen Hornhaut und vordere Linsenfläche von allen in unendlicher und positiv endlicher Entfernung, d. h. von allen vor ihnen gelegenen Objecten aufrechte und verkleinerte Bilder. Das Bild, welches ein Convexspiegel von einem bestimmten Gegenstande entwirft, wird aber um so kleiner, je mehr die Krümmung des Spiegels zunimmt, je kleiner sein Krümmungsradius wird. Es lässt sich nun durch directe Beobachtungen des lebenden menschlichen Auges nachweisen, dass das Bild der

[1]) Experimentaluntersuchung über den Mechanismus der Accommodation, 1868, pag 32.

Digitized by Google

vorderen Kapsel beim Nahesehen kleiner wird, ein unumstösslicher Beweis für das Abnehmen des Radius der vorderen Linsenfläche.

Vor 22 Jahren (1849) hat Max Langenbeck diese merkwürdige Beobachtung zuerst gemacht und aus derselben auch richtig gefolgert, dass die Linse beim Sehen in die Nähe an Convexität gewinne. Allein seine Angabe blieb zunächst unbemerkt, hatte doch der geniale Thomas Young nahezu ein halbes Jahrhundert früher (1801) es nicht blos, wie Viele vor ihm ausgesprochen, dass die Accommodation durch die Linse bedingt würde, sondern auch Beweise dafür beigebracht, die als vollgiltig angesehen werden müssen, und wie war er verstanden, wie waren seine Angaben seiner Zeit gewürdigt worden!

Zum Durchbruche kam die richtige Anschauung über die Rolle der Linse bei der Accommodation erst durch Cramer's Versuche (1851), an welche ganz unabhängig sich die von Helmholtz (1853) anschlossen. Die genannten Forscher gaben Methoden an, durch welche man sich mit Sicherheit von den Veränderungen der vorderen Linsenfläche überzeugen konnte, und Helmholtz fügte noch die Beobachtung über die Krümmungszunahme der hinteren Linsenfläche bei. Nach ihm erfährt das hintere Kapselbild in Augen, welche eine gute Accommodation besitzen eine Verkleinerung um etwa $^1/_{12}$ seiner Grösse, (nach Woinow eine noch bedeutendere), während das von der vordern Linsenfläche erzeugte Bildchen beim Sehen in die grösste Nähe ungefähr $^5/_9$ jener Grösse aufweist, welche es bei der Erschlaffung des Accommodationsapparates, beim Sehen in die Ferne besitzt. Unter Zugrundelegung des schematischen Auges, in welchem, wenn es sich im Zustande der Accommodationsruhe befindet, der Krümmungshalbmesser der Hornhaut 8 M^m., jener der vorderen Linsenfläche 10 und der der hintern 6 M^m. beträgt, wobei der vordere Linsenpol 3·6 M^m., der hintere 7·2 M^m. hinter der Vorderfläche der Cornea liegt, die Linse demnach in ihrer Axe einen Durchmesser von 3·6 M^m. besitzt — unter Zugrundelegung eines derartigen Auges nimmt Helmholtz folgende Veränderungen der Linse während des Accommodationsactes an. Während die Hornhautkrümmung unverändert bleibt, verkürzt sich der Radius der vorderen Linsenfläche von 10 auf 6, jener der hintern von 6 auf $5^1/_2$ M^m. Die vordere Linsenfläche rückt hiebei um $^4/_{10}$ M^m. vor, und da der hintere Linsenpol seinen Ort nach Helmholtz nicht verlässt, so beträgt auch die Dickenzunahme der Linse $^4/_{10}$ M^m., so dass in diesem Zustande des Auges der Linsendurchmesser gerade 4 Millimetern gleichkommt. Die genannten Veränderungen reichen nach Helmholtz's Berechnungen aus, um aus der unendlichen Entfernung bis auf jene von

Digitized by Google

5″ zu accommodiren. Diese Breite der Accommodation ist eine ziemlich bedeutende zu nennen. Allerdings ist das Auge eines ganz jugendlichen Individuums, wie wir sehen werden, im Stande, sich eine noch stärkere Linse zuzulegen, dies nöthigt uns aber nicht etwa, andere Hilfsmittel der Accommodation zu Hilfe zu rufen, wir müssen vielmehr mit Bestimmtheit annehmen, dass die Linsenveränderungen hierbei bedeutender sind, als sie Helmholtz vollkommen richtig für das Auge eines erwachsenen, etwa 20jährigen Individuums angenommen hat.

Zur Beobachtung der Linsenbilder hat Coccius [1]) in neuerer Zeit die binoculare Loupe (man kann als solche den Giraud-Teulon'schen binocularen Augenspiegel mit Vorsetzung einer Convexlinse von 8—12″ B. W. verwenden) empfohlen. In der Entfernung von 2—2½′ wird zur Seite und vor dem zu prüfenden Auge eine Oellampe und 6—8″ von dieser, zwischen ihr und dem Auge eine mit dem Auge gleich hoch gestellte Convexlinse von 12″ B. W. zur Verstärkung der Beleuchtung angebracht. Das vordere Kapselbild wird nun mit der binocularen Loupe betrachtet, während der Untersuchte zunächst in die Ferne blickt. Diese Untersuchungsmethode hat nach Coccius den Vortheil, dass man das Linsenbild in anderer Weise als mit Einem Auge wahrnimmt. Man sieht es nämlich vermöge einer genaueren Accommodation und des stereoskopischen Sehens in viel schärferem Umrisse und in einer gewissen Perspective in der Tiefe der Linse. Tritt beim Nahesehen eine Zunahme der Convexität der vorderen Linsenfläche ein, so wird das Bild kleiner und bewegt sich zugleich von hinten nach vorne. Das Bild nähert sich nämlich der hintern Fläche eines Convexspiegels, wenn der letztere an Convexität zunimmt; dazu kommt noch, dass in unserem Falle der spiegelnde Apparat selbst vorrückt.

Die Veränderungen, welche die Linse eingeht, sind die einzigen, welche man für das menschliche Auge mit Bestimmtheit als bei der Accommodation für die Nähe eintretend kennt. So sehr aber auch die Rolle, welche der bewegte Theil, die Linse, hiebei spielt, über jeden Zweifel erhaben ist, so haben sich andererseits über die Art und Weise, wie der bewegende Theil seine Function versieht, die Forscher noch durchaus nicht geeinigt. Doch glauben wir, hervorheben zu müssen, dass bei genauer Berücksichtigung des kostbaren Materials, welches uns Anatomie und Physiologie, die theoretische Betrachtung und das Experi-

---

[1]) Der Mechanismus der Accommodation des menschlichen Auges nach Beobachtungen im Leben. 1868. pag. 136 und 137.

Digitized by Google

ment an Thieren, sowie die Beobachtung am Lebenden bis zum heutigen Tage geliefert haben, nach unserer Ansicht der Mechanismus der Accommodation als vollkommen ergründet zu betrachten ist.

Der erste Schritt zur Enträthselung dieses wunderbarsten und feinsten Mechanismus, welchen die Natur vielleicht geschaffen, war gethan, als Ernest Brücke den 8. Juli 1846 (in der medizinischen Zeitung des Vereins für Heilkunde in Preussen) die Mittheilung machte, dass das bis dahin unter verschiedenen, gewöhnlich unter dem Namen des Ligamentum ciliare bekannte Gebilde kein Ligament, sondern ein aus glatten Faserzellen zusammengesetzter Muskel sei. Er erkannte, so wie unabhängig von ihm Bowman, die von vorn nach hinten verlaufenden Fasern des Muskels, während van Reeken (1855) zuerst, ohne ihrer ausdrücklich zu gedenken, circuläre Fasern abbildete, die Heinrich Müller hierauf als eine eigene, nach innen von den Längsfasern liegende Ringschichte beschrieb. Die nachfolgenden Untersuchungen über den in Rede stehenden Muskel durch Arlt, Mannhardt, G. Meyer und Henle wurden durch jene von Franz Eilhard Schultze (1867 [1]) vervollständigt, mit denen auch die Iwanoff's und Rollett's [2]) übereinstimmen. Schultze gelangte dadurch zu einer besonders genauen Kenntniss der Structurverhältnisse des Muskels, dass er sich zur Erhärtung der Theile des Chlorpalladiums (1 Theil Chlorpalladium auf 800 Theile Wasser) bediente, durch welches Reagens die glatten Muskelfasern hellstrohgelb, bei längerer Einwirkung des Mittels dunkelgelb gefärbt werden, während das zwischenliegende Bindegewebe ungefärbt bleibt. Legt man überdies die gewonnenen Schnitte in eine Lösung von carminsauerem Ammoniak, so nimmt das Bindegewebe hierdurch eine tiefrothe Farbe an, während die Tingirung der durch Chlorpalladium veränderten Theile sich nicht ändert. Auf derartigen Präparaten tritt dann nach Schultze der Unterschied zwischen muskulösen und bindegewebigen Elementen besonders deutlich hervor.

Die vorliegende Abbildung (Fig 6) wird Ihnen, meine Herren! die Lage, Form und Beschaffenheit des Brücke'schen Muskels klar machen. Sie haben einen Theil eines von vorn nach rückwärts durch die Augenaxe gelegten Augapfeldurchschnittes vor sich, in welchem die über der Linse gelegenen Theile der Deutlichkeit wegen in stärkerer Vergrösserung gegeben sind, als die Linse selbst. Sie sehen den Durchschnitt

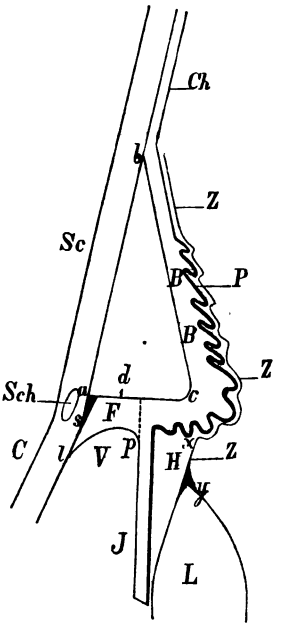
---

[1]) Schultze's Archiv, III. Band, pag. 477.
[2]) Gräfe's Archiv, XV., pag. 47.

Digitized by Google

der Cornea (in *C*) und der Sclerotica (in *Sc*), an deren Grenze den des Schlemm'schen Canals (in *Sch*). *I* stellt die Iris, *Ch* die Chorioidea, *Z* die Zonula Zinnii, *L* die Linse, *V* die vordere und *H* die hintere Kammer dar; alles Uebrige was die Zeichnung noch enthält, ist das sogenannte Corpus ciliare. Dasselbe besteht aus drei Abschnitten, dem dreieckigen an die Lederhaut angrenzenden Musculus Brückianus *abc*, den gegen das Innere des Auges gekehrten Processus ciliares *P*, wobei zwischen Ciliarmuskel und Ciliarfortsätzen eine Schichte bindegewebiger Substanz *B* liegt, und dem Analogon des Canalis Fontanae *F*, welcher durch die Fasern des ligamentum pectinatum iridis *lp* von der vorderen Augenkammer *V* getrennt ist. Von den drei Seiten des Muskeldurchschnittes liegt die eine, *ab*, an der Sclerotica, die zweite, *ac*, ist gegen die Iris, die dritte, *bc*, gegen die Ciliarfortsätze gerichtet. Der Winkel bei *a* ist ein rechter, der bei *c* abgerundet, bei *b* liegt die Spitze des Dreiecks. In der Richtung von *a* nach *b* strahlen von vorn nach rückwärts die meridionalen, ziemlich parallel neben einander liegenden, zu derben Platten vereinigten Fasern, welche die Hauptmasse der musculösen Elemente des Dreiecks in sich schliessen, und in die Chorioidea übergehen. Die weiter nach innen, also mehr gegen die Seite *bc* gelegenen Fasern bilden keine compacte Masse mehr, sondern ein durch bindegewebige Inseln unterbrochenes Geflecht, in dessen Mitte ungefähr die Richtung der Muskelfasern aus der meridionalen in die circuläre übergeht, und längs der Seiten *ac* und *bc* eine rein circuläre wird. Die Cirkelfasern, welche die Seite *ac* bilden, sind durch ihre Mächtigkeit ausgezeichnet, sie sind es, die Heinrich Müller beschrieben hat, während Schultze zeigte, dass die Cirkelfasern sich auch längs der ganzen Seite *cb* fortsetzen und überall mit den Längsfasern in netzförmiger Verbindung stehen.

Fig. 6.



Die meridionalen Bündel drängen sich bei dem Winkel *a* in eine Spitze *as* zusammen, und die Sehnenfasern, in die sie enden, setzen sich theils in die Membrana Descemeti fort, theils (und zwar grossentheils) gehen sie direct in das Cornealgewebe über, zum Theile endlich ziehen sie gegen die Innenwand des Schlemm'schen Canals.

Digitized by Google

Der eben beschriebene Muskel ist es, welcher durch seine Contraction ohne Zweifel die Gestaltveränderung der Linse herbeiführt, allein auf welche Weise? Man muss gestehen, dass Brücke, noch bevor die Linsenveränderungen beim Accommodationsacte bekannt waren, eine im Wesentlichen richtige Ansicht von der Wirkung des von ihm entdeckten Muskels hatte, und ihn mit einem treffenden Namen, dem des Musculus tensor chorioideae, belegte. Der Muskel hat nur Einen fixen Punkt, welcher vorne in der Cornea und an der Innenwand des Schlemm'schen Canals gelegen ist. Indem sich seine Längsfasern contrahiren, muss das vordere Ende der Chorioidea, in welches sich dieselben verlaufen, und mit ihr die Retina nach vorne gezogen, müssen die genannten Membranen um den Glaskörper angespannt werden. Betrachten wir den Zusammenhang der Zonula Zinnii, des Aufhängebandes der Linse, mit den Processus ciliares, so ist klar, dass bei diesem Vorgange auch der mit den Ciliarfortsätzen in untrennbarer Verbindung stehende Theil der Zonula nach vorne gezogen wird, hierdurch der Ciliarrand x und der Linsenrand y der Zonula sich einander nähern, und die Zonula demnach erschlaffen müsste, falls die Linse in ihrer Form unveränderlich bliebe. Die Ringfasern des Muskels, die sich als Theile desselben Muskels nnd von demselben Nerven innervirt, — wie aus von Trautvetter's [1]) Experimenten an Tauben und Hühnern hervorgeht, wird der Accommodationsmuskel nur von Einem Nerven, dem Oculomotorius, versorgt — gleichzeitig mit den Längsfasern contrahiren, können die Wirkung der Längsfasern aus einfachen physikalischen Gründen nicht paralysiren. Es kann ihre Zusammenziehung nur die Wirkung haben, dass die Zugrichtung in Etwas modificirt wird, und zwar in der Weise, dass dieselbe nicht von c nach a, sondern mehr nach innen, nach einem Punkte der Seite ab, etwa nach d hinzielt, wodurch die Wirkung auf die Zonula, deren Erschlaffung vermehrt wird.

Auf die genannte Action des Accommodationsmuskels stützte Helmholtz seine Accommodationstheorie. Die jugendliche Linse hat eine weiche Consistenz. Ihre Gestalt wird bestimmt durch die Spannung, welche die mit der Linsenkapsel in unmittelbarem Zusammenhange stehende Zonula Zinnii erleidet. Gehen wir von einer bestimmten Linsenfigur aus, so wird eine Steigerung der eben bestehenden Spannung der Zonula die Linse von vorn nach rückwärts abflachen, ihren äquatorialen Durchmesser vergrössern und die Krümmung der Linsenflächen vermindern, jede Abspannung der Zonula dagegen den gerade

[1]) Gräfe's Archiv, XII. 1. 1866, pag. 95.

Digitized by Google

entgegengesetzten Effect hervorbringen. Es wird hiebei der Diameter antero-posterior der Linse grösser werden, der Querdurchmesser abnehmen und die Krümmung der vorderen und hinteren Linsenfläche zunehmen müssen. Zu einer eigentlichen wirklichen Erschlaffung der Zonula dürfte es jedoch hiebei, wiewohl ein am lebenden Hundeauge von Hensen und Voelckers [1]) ausgeführtes Experiment dafür zu sprechen scheint, kaum kommen. Coccius [2]) macht darauf aufmerksam und Schumann [3]) stimmt darin mit ihm überein, dass, so wie der äussere Rand der Zonula vorrückt, die Linse ihre Gestalt insoweit verändert, als es die Zonula gerade gestattet, so dass die letztere hiebei immer im Zustande der Spannung verbleibt. Nur im gealterten Auge, in welchem die Linse starrer geworden, wird es, wenn der Brücke'sche Muskel sich contrahirt, nach unserem Dafürhalten zu einer wirklichen Entspannung des Aufhängebandes kommen.

Diejenige Spannung, welche der Zonula im Zustande vollkommener Accommodationsruhe des Auges zukommt, kann, wie schon aus der Wirkungsweise des Brücke'schen Muskels hervorgeht, nicht vermehrt werden. Eine durch die active Thätigkeit einer lebendigen Kraft herbeigeführte Abflachung der Linse existirt demnach nicht. Der Effect der durch active Muskelkräfte erzielt wird, kann also nur dahin gehen, die Zonula abzuspannen. Das Aufhören der Muskelwirkung wird zur Folge haben, dass die Zonula und mit ihr die Linse in ihre ursprüngliche Lage zurückkehren. Befindet sich also das Auge im Zustande der Muskelruhe, so kommt ihm jene Refraction zu, die durch dessen anatomischen Ban als solchen bedingt ist, und diese Refraction kann es durch Muskelcontraction nur nach Einer Richtung willkürlich ändern, nämlich in der Weise, dass es dieselbe vermehrt. Es ist aber nicht im Stande, seine Refraction durch Muskelwirkung herabzusetzen, eine sogenannte negative Accommodation, durch welche das Auge die Eigenschaft besitzen sollte, die ihm durch seinen Bau zukommende Brechkraft zu verringern, ist demnach lediglich eine Fiction.

Dass die Accommodation in der genannten Weise vor sich gehe, dafür spricht eben zunächst die anatomische Anordnung des Brücke'schen Muskels, dafür sprechen von physiologischer Seite die subjectiven Lichterscheinungen, welche mit dem Accommodationsvorgange in

[1]) L. c. pag. 38.

[2]) L. c. pag. 48.

[3]) Ueber den Mechanismus der Accommodation des menschlichen Auges 1868. pag. 16.

Digitized by Google

Folge der dabei stattfindenden Zerrung der Netzhaut in Verbindung stehen, zu denen vor Allen Czermak's Accommodationsphosphen gehört, dafür erheben endlich laut ihre Stimme die Experimente, die Hensen und Voelckers an lebenden Hunden angestellt haben, und die Beobachtungen von Becker und Coccius an lebenden Menschenaugen.

Hensen und Voelckers konnten sich an Hundeaugen nach Entfernung der Sclerotica direct überzeugen, dass die Chorioidea bei Reizung der Ciliarnerven nach vorne rückt. Die Verschiebung der Aderhaut beträgt nach ihnen am Aequator bulbi ungefähr $^1/_2 M^m$, während dieselbe gegen die Eintrittsstelle des Opticus hin abnimmt. Der eleganteste Versuch aber, den Hensen und Voelckers in dieser Richtung machten, ist der, dass sie bei unverletztem Auge eine Nadel gerade auf den Ciliarmuskel hin einstiessen, während sie eine zweite dahinter durch die Sclerotica und Chorioidea stachen. Bei Reizung der Ciliarnerven nun blieb die erstere Nadel vollkommen ruhig, während das freie Ende der letzteren „eine lebhafte Bewegung" nach rückwärts machte. Da die Durchstichsstelle an der Sclerotica ein unbewegliches Hypomochlion abgibt, so ist der genannte Versuch ein schlagender Beweis dafür, dass die Nadelspitze durch die Chorioidea nach vorne gezogen wurde. Die genannten Versuche werden von Adamük bestätigt.

Was die Veränderungen der Linse anlangt, so geht aus dem Kleinerwerden der Spiegelbilder nur hervor, dass die Linsenflächen convexer werden, allein es ist dadurch nicht bewiesen, dass das Convexerwerden der Linse durch ein Zusammenfallen in sich selbst zu Stande komme. Damit dies sicher stehe, muss das Breiterwerden des Linsenrandes und die Abnahme der Linsencircumferenz, sowie ausserdem bewiesen werden, dass kein directer Druck auf die Linse statthabe. Die Veränderungen des Linsenrandes während der Accommodation sah zuerst Otto Becker [1]) am Auge lebender Albinos, bei welchen die pigmentlose Iris kein Hinderniss abgibt, bei gehöriger Beleuchtung die hinter ihr liegenden Theile zu beobachten, sowie Coccius an Augen, an denen die Iridectomie vollführt war. Das Breiterwerden des Linsenrandes gibt sich nämlich dadurch kund, dass der dunkle Contour, durch welchen derselbe im durchfallenden Lichte sich characterisirt, an Breite zunimmt. Coccius [2]) gibt ausserdem an, dass man sogar das Vorrücken der Zonula beim Nahesehen, die Bewegung derselben gegen die Hornhaut wahrnehmen könne.

---

[1]) Med. Jahrbücher, 1863, pag. 160.
[2]) L. c. pag. 11, 12, 15, 16.

Digitized by Google

Die Abnahme des Linsenäquators bei der Naheaccommodation beobachtete oder vielmehr erschloss Coccius aus dem mitunter sichtbaren Phänomene, dass die einen Schichtstaar constituirende Trübung (und mithin auch der Linsenumfang) beim Nahesehen an Durchmesser abnimmt.

Indem wir zum Schlusse noch die Veränderungen erwähnen, die während des Accommodationssactes im Auge eintreten, ohne denselben zu beeinflussen, werden wir ersehen, dass ein directer Druck von keiner Seite her auf die Linse einwirkt. Die Veränderungen betreffen die Iris und die Ciliarfortsätze. Die Pupille verengert sich bei der Accommodation, der periphere Theil der Iris weicht zurück, der centrale rückt etwas vor. Ein Druck von Seite der Iris auf die Linse aber ist zum Behufe des Nahesehens nicht nothwendig. Es wird dies durch eine Beobachtung v. Gräfe's an einem Patienten, welchem nach einer Verletzung die ganze Iris aus dem Auge entfernt wurde, und durch Experimente von Hensen und Voelckers bewiesen. Das erstgenannte irislose Individuum behielt nämlich seine Accommodation, und bei Hunden kann man die ganze Iris entfernen, ohne dass eine Abnahme der Formveränderung der Linse bei Reizung der Ciliarnerven eintreten würde.

Ebenso wenig wie die Iris, üben die Ciliarfortsätze einen Druck auf die Linse aus. Das merkwürdige Spiel derselben während der Einstellungsschwankungen des Auges hat Otto Becker aufgedeckt. Er beobachtete an Albinos, dass die Ciliarfortsätze beim Nahesehen und bei der dabei eintretenden Verengerung der Pupille kleiner werden, sich gegen die Peripherie zurückziehen, während sie an Volumen zunehmen und gegen die Augenaxe vorrücken, wenn das Auge in den Ruhezustand übergeht, wobei die Pupille weiter wird. Coccius ist in neuerer Zeit zwar zu dem gerade entgegengesetzten Resultate in Betreff der Ciliarfortsätze gelangt, allein abgesehen von manchen Widersprüchen und Unklarheiten in seinen Angaben, auf welche zum Theile schon Schumann aufmerksam machte, hat er ein für Accommodationsversuche höchst ungünstiges Materiale, die Augen Iridectomirter nämlich, zu seinen Beobachtungen verwendet. Wir müssen desshalb vorläufig den Befund bei unverletztem Auge in seinem Rechte lassen. Die Ciliarfortsätze können desshalb auf die Formveränderung der Linse keinen Einfluss üben, weil sie, wie Becker bei seinen Beobachtungen sah, sowohl im verkürzten als im verlängerten Zustande immer frei in die hintere Augenkammer, die zwischen Iris und Linse besteht, hineinragen, dieselbe daher niemals berühren.

Digitized by Google

Ohne uns in eine längere historische Darlegung der Accommodationslehre einzulassen, und ohne an diesem Orte uns in den Irrgarten zu verlieren, in welchem zu verschiedenen Zeiten Accommodationstheorien mehr oder minder bestechend emporschossen, haben wir geraden Weges auf unser Ziel losgesteuert und sind bei einer befriedigenden Lösung des Accommodationsvorganges angelangt. Auch Coccius' neueste Theorie konnte uns in unserm Laufe nicht beirren, und wir können uns hier nur darauf beschränken, Coccius' diesbezügliche Resultate wörtlich mitzutheilen [1]).

„Bei der Contraction des Ciliarmuskels wird 1. die Zonula nach vorne gehoben und gestattet der Linse, sich an ihrer vorderen Fläche stärker zu wölben. 2. Diese stärkere Wölbung der Linse findet aber nicht lediglich durch die Elasticität derselben statt, ebenso wenig als die Zonula bei ihrem Vorheben nach vorne erschlafft; sondern in demselben Momente der Bewegung dieser wird der Muskel dicker und zieht nicht bloss die mit der Zonula verbundenen Ciliarfortsätze etwas nach vorn, sondern drückt dieselben an ihrer Wurzel zugleich gegen den unterliegenden vorderen Theil des Glaskörpers. Die Ciliarfortsätze schwellen 3. hierbei an und die Linse erhält durch das Dickerwerden des Muskels, die Schwellung der Ciliarfortsätze und die gleichzeitige (relative) Spannung des Glaskörpers und Petit'schen Raumes einen seitlichen Druck, der sowohl ihre Vorderfläche nach vorn, als auch ihre Hinterfläche nach hinten (wenn auch wenig) stärker krümmt."

„Beim Rückgange des Ciliarmuskels- und Accommodationsapparates zu seiner Ruhe treten zuerst die geschwollenen Ciliarfortsätze im Volumen zurück; alsdann folgt die Bewegung ihrer Körper gleichzeitig mit der Zonula nach rückwärts; die letzte Bewegung zur Ruhe zeigt die Linse an ihrem Rande im Petit'schen Raume."

Ganz ohne historische Bemerkungen oder vielmehr Berichtigungen können wir die Accommodationslehre doch nicht verlassen. Helmholtz [2]) führt als den Ersten, welcher eine Formveränderung der Linse bei der Accommodation annahm, Des Cartes (1596 — 1650) auf. Nun ist es allerdings richtig, dass Des Cartes in seinem berühmten: Discours de la méthode pour bien conduire sa raison et rechercher la verité dans les sciences. Plus la Dioptrique, les Météores et la Géométrie qui sont des essais de cette méthode. Leyde, 1637, die Accommodation von der stärkeren Krümmung der Linse ableitet. Die wichtige Stelle lautet in

[1]) L. c. pag. 48.
[2]) Physiologische Optik, pag. 121.

Digitized by Google

der lateinischen, vom Autor revidirten und verbesserten Ausgabe [1]): EN, EN (es sind dies Buchstaben, auf einen Augendurchschnitt bezüglich) sunt plurima filamenta nigra (es sind die Ciliarfortsätze gemeint), undiquaque amplexa humorem L (crystallinum), et eorum ope hic humor, pro intentione, qua visus noster in res propinquas aut longe dissitas fertur, mox in majorem gibbum curvatus, mox magis in planum porrectus, totam oculi figuram nonnihil immutat.

Der Erste, welcher die Linsenaccommodation annahm, war jedoch Des Cartes nicht. Christophorus Scheiner nämlich hatte bereits vor ihm im Jahre 1619 auf die Rolle, welche die Linse bei der Accommodation durch Krümmungsänderung ihrer Oberflächen spielen könnte, hingewiesen. Scheiner wird von Helmholtz [2]) zu Jenen gerechnet, welche die Accommodation als durch Verschiebung der Linse bewirkt sich denken, aber gerade an der von Helmholtz citirten Stelle von Scheiner's Oculus [3]) (Lib. III. pag. 163) wird die Krümmungsänderung der Linsenfläche in erster Linie, die Verschiebung des Crystalles dagegen erst in zweiter Linie angeführt, und den Ciliarfortsätzen bei der Formveränderung der Linse dieselbe Rolle zugetheilt, die sie auch — ein interessantes Factum — in der neuesten Accommodationstheorie, jener von Coccius [4]) spielen. Die betreffende Stelle lautet bei Scheiner: Hinc natura motricem facultatem tam tunicae Uveae, quam processibus ciliaribus attribuit, ut suo astrictu .... humorem Crystallinum aut conglobarent circumcirca comprimendo aut attenuarent attractione: vel in anteriora protruderent seu denique introrsus regererent. Das Gleiche ist ausgesprochen pag. 23 .... figuramque Crystallini nonnihil vel attenuent, vel conglobent; pag. 208: .... ciliares processus sese quodammodo constipant aut relaxant, in qua constipatione aut remissione Crystallinus humor vel conglobatur, vel retruditur introrsus et sic radiorum concursus abbreviatur; aut sese relaxant Processus, et humor Crystallinus quodammodo complanatur vel Vitreus completur et sic radiorum convergentia protelatur; pag. 244: Iuvenes aliqui omnia acute vident quia Crystallinum flexilem et tunicam Retinam valde mobilem habent.

---

[1]) Specimina philosophiae seu Dissertatio de methodo, recte regendae rationis et veritatis in scientiis investigandae: Dioptrice et Meteora. Amstelodami 1856, pag. 80 und 81. (Dioptrice III. 5.)

[2]) L. c. pag. 120.

[3]) Oculus hoc est: Fundamentum opticum etc. etc. Oeniponti (Innsbruck) 1619.

[4]) Der Mechanismus der Accommodation etc. Leipzig 1868. pag. 49.

Digitized by Google

Kepler, welcher, wie wir sahen bereits 1604 zuerst es aussprach, dass das Sehen nur dann volkommen scharf ist, wenn alles von Einem Punkte ausgehende Licht durch die Brechungen in der Cornea und Linse gesammelt wird und nur einen einzigen Punkt der Retina beleuchtet [1]), der sehr wohl die Bedingungen für dieses Postulat kannte, damit also auch die Nothwendigkeit der Accommodationsfähigkeit des Auges kennen musste, spricht sich über diesen letzteren Punkt, so weit ich ersehen kann, in seinen Paralipomena doch nicht aus. Da heisst es nur, das beim Sehen in die Nähe die Augen nach einwärts gewendet werden müssen (in visione rerum propinquarum contorquendos esse oculos [2]). Erst in der Dioptrice (1611) spricht er den classischen Satz aus (Prop. LXIII.): „Es ist nicht möglich, dass die Netzhaut, wenn sie ein nnd dieselbe Lage im Auge beibehält, sowohl von nahen als von entfernten Objecten ein deutliches Bild entwirft," entwickelt aber eine sehr unklare Accommodationstheorie. (Propositio LXIV Anmerkung): Durch die Verengerung des Kreises der Ciliarfortsätze werde die Linse vom Augengrunde entfernt (d. h. sie rücke vor), durch die Erweiterung desselben Kreises dagegen werde der Augengrund gegen die Linse hin gezogen. Diese unmögliche Theorie deutet Helmholtz so, dass nach Kepler die Accommodation durch Linsenverschiebung bewirkt werde [3]), während Donders im Gegentheile angibt, Kepler erkläre die Accommodation dadurch, dass die Netzhaut ihren Platz verändere und sich der Linse nähere oder von ihr entferne [4])! Donders fügt bei: „Kepler muss desshalb angenommen haben, dass bei Myopen die Netzhaut sich in grösserem Abstande von der Linse befindet."

Das Interesse an dem Gegenstande, sowie das nicht unwichtige Moment, auf unrichtige Citate in gewissen Grundwerken, aus denen dieselben ohne Angabe der Quelle fort und fort abgeschrieben und in ihrer Fehlerhaftigkeit ohne Ende verschleppt werden, aufmerksam zu machen, möge die Excursion in vergangene Jahrhunderte entschuldigen.

---

[1]) Ad Vitellionem Paralipomena Caput V. 2.
[2]) L. c. Cap. V. 3. Propositio II.
[3]) L. c. pag. 120.
[4]) L. c. pag. 446. Deutsche Ausgabe pag. 375.

Digitized by Google

Dritte Vorlesung.

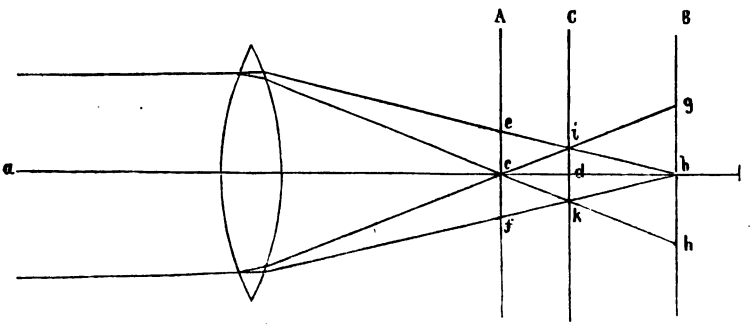
Die Refractionsfehler des Auges.

Was wir unter Refraction und Accommodation des Auges begreifen und in welcher Weise die letztere bewerkstelligt wird, haben wir, meine Herren! in der letzten Vorlesung gesehen. Heute ist es an uns, uns zu vergegenwärtigen, was wir unter den Refractionsfehlern des Auges eigentlich zu verstehen haben und was darunter gewöhnlich verstanden wird.

Man sollte glauben, dass es höchst klar sei, dass man unter Fehlern der Refraction eben solche und nichts Anderes begreife, aber dem ist durchaus nicht so. Fragen wir uns zunächst, welche Mängel des brechenden Apparates des Auges wir überhaupt erwarten dürfen, so ist a priori einleuchtend, dass wir auf dieselben gefasst sein müssen, wie sie sich an jedem künstlichen optischen Instrumente vorfinden können. Es sind dies die Fehler der chromatischen und monochromatischen Aberration.

Fallen auf eine Convexlinse (Fig. 7) Strahlen gemischten Lichtes von einem in unendlicher Entfernung gelegenen Leuchtpunkte, so wird

Fig. 7.



dieses Licht nur theoretisch wieder in Einem Punkte, dem Brennpunkte, vereinigt. Factisch wird es aus weissem in farbiges umgewandelt, es wird jeder Strahl gemischten Lichtes in eine Anzahl farbiger Strahlen zerlegt. Die farbigen Strahlen nämlich, aus denen ein farbloser zusammengesetzt ist, haben eine verschiedene Brechbarkeit Es ist Ihnen Allen bekannt, dass jene, welche das rothe Ende des Spectrums bilden, die geringste, die violetten hingegen die grösste Brechbarkeit

Digitized by Google

besitzen, d. h. dass so wie die vom Leuchtpunkte *a* ausgehenden Strahlen die Linse passirt haben, eine Reihe von Strahlenkegeln sich formirt, deren äusserster, jener nämlich, dessen Spitze *(b)* zumeist von der Linse entfernt ist, in rothem, deren innerster, dessen Spitze *(c)* der Linse zunächst liegt, in violettem Lichte erglänzt. Die Länge der Strecke *bc*, der Abstand der Spitzen des rothen und violetten Kegels, ist der Ausdruck für die Grösse der Farbenzerstreuung, welche durch die gerade in Anwendung stehende, aus einer bestimmten Substanz gefertigte Linse erzeugt wird. Je grösser *bc*, desto grösser ist die zerstreuende Wirkung der Linse; je kleiner, um so mehr werden sich die Vereinigungspunkte der Strahlen verschiedener Brechbarkeit nähern, und der Werth der in Rede stehenden Grösse würde Null werden für den Fall, dass der Punkt *c* mit *b* zusammenfiele, die Strahlen des Lichtes aller Farben in einem und demselben Punkte sich einigten.

Wollen wir nun das Bild des leuchtenden Punktes *a* auf einem Schirme wieder in Form eines Punktes auffangen, so kann uns dies im mathematisch genauen Sinne des Wortes nicht gelingen. Wo wir auch unsern Schirm anbringen mögen, an welcher Stelle der Farbenstrecke *bc* wir ihn aufrichten, nirgends wird das Bild des Punktes ein Punkt, sondern stets ein farbiger Zerstreuungskreis sein. Stellen wir den Schirm *A* zunächst so auf, dass er durch den Vereinigungspunkt des violetten Lichtes, also durch *c* geht, dann finden zwar die Strahlen dieses Lichtes daselbst ihre Vereinigung, nicht so aber die anderen, und die rothen als die äussersten schreiben durch ihren Gang die Grösse des Zerstreuungskreises vor, in welchem das Bild des Leuchtpunktes auf dem Schirm *A* erscheinen wird. *ef*, der Durchmesser des durch den Schirm bedingten Querschnittes des rothen Strahlenhohlkegels, ist auch der Durchmesser des Zerstreuungskreises, von dem wir eben sprachen. Im Centrum dieses Kreises wird — so fordert es die Theorie — ein violetter Punkt erscheinen und roth wird die Farbe des Randes sein. Zwischen diesen beiden Farben müssen die übrigen des Spectrums: blau, grün, gelb, orange sichtbar werden.

Rücken wir den Schirm weiter nach rückwärts, nach *B*, dorthin, wo er durch den Brennpunkt der rothen Strahlen geht, und wo die violetten, nachdem sie in *c* ihre Vereinigung gefunden, wieder so auseinander gefahren sind, dass *gh* den Durchmesser ihres Kegels darstellt, dann zeigt sich der Zerstreuungskreis mit rothem Centrum und violettem Rande. Steht der Schirm endlich mitten in der Farbenstrecke, in *C*, dort, wo die Strahlen von mittlerer Brechbarkeit, die grünen in *d* ihre Vereinigung finden, dann ist der Durchmesser des Zerstreuungs-

Digitized by Google

kreises *ik* der kleinste, und da die rothen und violetten Strahlen hiebei gleich grosse Kreise bilden, so werden sich ihre Farben am Rande gleichmässig mischen und Purpur ist die Farbe, welche die Theorie dem Saume gibt.

Wir haben zunächst zu untersuchen, ob auch das optische System des Auges chromatisch sei. Da im Auge, wie Dollond schon seiner Zeit hervorhob, alle Brechungen des Lichtes zur Augenaxe erfolgen und die violetten Strahlen unter solchen Bedingungen jedesmal stärker gebrochen werden, als die rothen, so ist es auch höchst wahrscheinlich, dass das Auge vom Farbenfehler nicht frei sei. Es war eine Zeit, wo man nicht blos nicht im Stande war, achromatische Linsensysteme zu erzeugen, sondern wo man es sogar aus Gründen der Physik für unmöglich hielt, dass dies jemals gelingen könnte. Zu dieser Zeit glaubte man, dass es nur ein einziges optisches Instrument gebe, welches achromatisch sei; allein von Menschenhänden war es nicht gefertigt, nämlich das Auge. Die Kunst hat aber die Natur beschämt, und so sind wir einerseits in der Lage, achromatische Linsensysteme zu construiren und andererseits ist es über jeden Zweifel erhaben, dass gerade das Auge die Eigenschaft der Achromasie nicht besitzt.

Newton war der Erste, der (1704) der Farbenzerstreuung im Auge erwähnt, er hielt dafür, dass die Farbenzerstreuung aller durchsichtigen Medien mit ihrer Brechkraft gleichen Schritt halte, dass also ein Mittel, welches das Licht doppelt so stark zerstreut, als ein anderes, das Licht auch doppelt so stark breche, wie dieses letztere. Die Folge dieser Annahme Newton's war dessen Ansicht, dass ein achromatisches Linsensystem, d. h. ein solches, welches das Licht bricht ohne es zu zerstreuen, ein physikalisches Unding sei, denn nur dann, wenn z. B. zwei Glassorten von nahezu derselben Brechkraft eine ungleiche Zerstreuungskraft hätten, wäre es möglich, ein achromatisches Linsensystem herzustellen. Würde man etwa zu einer Convexlinse von 3″ B. W. aus der Glassorte *A* eine Concavlinse von 6″ B. W. von der Glassorte *B* hinzufügen, wäre die Brechkraft des Glases *A* und *B* die gleiche, würde aber *B* das Licht doppelt so stark zerstreuen, wie *A*, so wäre die Folge, dass die Farbenzerstreuung der Linse I. durch die in entgegengesetzter Weise und in gleichem Grade erfolgende der Linse II. getilgt würde, während die Linsencombination das Licht noch, wie eine Linse von 6″ B. W. bräche, denn eine solche bleibt übrig, wenn wir von einer Convexlinse von 3″ B. W. eine solche von 6″ B. W. (durch die Hinzufügung des betreffenden Concavglases) wegnehmen.

Digitized by Google

Da aber Dispersion und Brechkraft nach Newton mit einander gleichen Schritt halten sollten, so konnte es nach ihm kein achromatisches Instrument geben, und desshalb ging er auch dem Auge zu Leibe und es gelang ihm in der That, die Farbenränder wahrzunehmen, die zum Vorschein kommen, wenn man mit halbgedeckter Pupille beobachtet.

„Wegen dieser verschiedenen Brechkraft der verschiedenen Strahlenarten" sagt Newton [1]) „sehe ich nicht ein, wie es geschehen könnte, dass die Fernrohre durch das Princip der Refraction des Lichtes verbessert und vervollkommnet werden könnten. Da also Fernrohre von gegebener Länge durch Lichtbrechung zu vervollkommen „in negotiis desperatis est," so habe ich ein Teleskop ersonnen, welches die Bilder der Objecte durch Reflexion entwirft."

In Betreff der Farbenzerstreuung des Auges heisst es [2]), dass das, was in Bezug auf die Farben des Prismas gesagt wurde, auch leicht verständlich sei in Betreff der Farben, welche die Gläser der Teleskope und Mikroskope vel etiam oculi ipsius humores aufweisen. Wenn die Hälfte der Glaslinse oder die Hälfte der Pupille des Auges durch einen dunklen Körper gedeckt wird, so kann der freie Theil des Glases oder der ungedeckte Theil der Pupille als ein Keil mit krummen Seiten angesehen werden.

Newton gibt dann eine sehr einfache, aber treffende Erklärung der Farbensäume, die bei halbgedeckter Pupille auftreten. Wie jede der Axe nach halbirte Linse nicht bloss als Linse, sondern auch als Prisma wirkt, so zeigt das gleichsam halbirte dioptrische System des Auges auch die prismatische Ablenkung der Strahlen, wodurch die Farbenzerstreuung deutlicher hervortritt.

Das Merkwürdigste an der Sache ist, dass Euler, ein würdiger Gegner Newton's, dadurch, dass er das Auge für achromatisch erklärte, die Ansicht aussprach, dass es auch gelingen könne, künstliche achromatische Linsensysteme zu erzeugen. So hatte man Newton's unrichtiger Ansicht die Entdeckung der Farbenzerstreuung des Auges und der für die Astronomie nach heute so wichtigen Spiegelteleskope zu danken, und Euler's unrichtige Annahme, dass das Auge achromatisch sei, war von der grossartigsten und für die Geschichte der optischen Instrumente, besonders der Mikroskope folgenschwersten Entdeckung, der Construction achromatischer Linsensysteme, gefolgt. Es

---

[1]) Optice Lib. I. Pars 2. Propositio VII.

[2]) L. c. Prop. VIII. Problema III.

Digitized by Google

war nämlich nicht richtig, was Newton sagte, dass Dispersion und Brechkraft einander proportional seien. Es ist bekannt, dass unsere achromatischen Linsensysteme aus Crown- und Flintglaslinsen zusammengesetzt sind. Crown- und Flintglas haben nahezu dieselbe Brechkraft, aber die Zerstreuungskraft des Flintglases ist ungefähr doppelt so gross als die des Crownglases, und so kann man eine Convexlinse aus Crownglas mit einer concaven aus Flintglas von grösserer Brennweite so combiniren, dass die Farbenzerstreuung aufgehoben wird, die Combination aber noch als Convexlinse wirkt.

Es dürfte Ihnen, meine Herren! nicht unbekannt sein, dass Fraunhofer[1]) der Erste war, welcher die chromatischen Abweichungen des Auges neu entdeckte und dieselben auch zu messen unternahm. Das durch ein Prisma entworfene Sonnenspectrum beobachtete er mit einem Fernrohre. Ein feiner Mikrometerfaden, welcher im Ocular des Fernrohres angebracht war, erschien in verschiedener Deutlichkeit, je nachdem derselbe in rothem oder blauem Lichte des Spectrums stand. Zeigte er sich bei einer bestimmten Stellung der Ocularlinse im rothen Lichte vollkommen deutlich, so wurde er nicht mehr gesehen, sowie das Fernrohr nach dem blauen Ende des Spectrums gerichtet ward, und es musste das Ocular „bedeutend viel" dem Faden näher gerückt werden und zwar um mehr als das Doppelte der Längenabweichung wegen der Farbenzerstreuung der Ocularlinse, damit der Faden wieder vollkommen deutlich hervortrat. Dies beweist, dass wenn bei einer bestimmten Stellung des Oculars rothe Strahlen mit Hilfe der Ocularlinse und des dioptrischen Systems des Auges auf der Netzhaut ihre Vereinigung finden, bei dieser selben Stellung des Oculars und des Auges blaue Strahlen ihren Vereinigungspunkt vor der Netzhaut haben und erst dadurch zur Sammlung auf letztere Membran gebracht werden können, dass das dioptrische Sammelsystem sich dem blauen Objecte nähert. Rothe und blaue Strahlen wurden also bei dem Fraunhofer'schen Versuche in verschiedener Weise gebrochen und, da die chromatische Abweichung der Ocularlinse bekannt war, so konnte Fraunhofer jene des Auges für die genannten Strahlen berechnen.

Die chromatische Aberration des menschlichen Auges ist übrigens eine geringe im Vergleiche zu jener, wie sie Glaslinsen zukommt. Es erklärt sich dies nach Helmholtz daraus, dass die Brechungsindices der das Licht brechenden Medien des Auges nicht in wesentlichem Maasse von dem Index des Wassers abweichen, und dass das Zer-

[1]) Gilbert's Annalen. 56. Band. 1817. pag. 304.

Digitized by Google

streuungsvermögen des Wassers ein viel geringeres ist, als das des Glases. Da nun anzunehmen ist, dass die optischen Medien des Auges nicht blos in ihrem Brech-, sondern auch in ihrem Dispersionsvermögen mit dem des Wassers nahezu übereinstimmen, so berechnete Helmholtz die Dispersion, welche dem reducirten Auge Listing's zukommt, in der Art, dass er voraussetzte, dass hinter der Einen brechenden Fläche, durch welche dieses Auge repräsentirt wird, sich Wasser befindet. Es hat sich da herausgestellt, dass wenn Strahlen von einem unendlich entfernten, rothes Licht aussendenden Punkte ausgingen, dieselben 20·574 M^m. hinter der brechenden Fläche ihre Vereinigung finden, während violette Strahlen, von einem unendlich weit entfernten Lichtpunkte kommend, ihre Kreuzung 20·140 M^m. hinter der brechenden Fläche hätten. Würde also die percipirende Netzhautschichte durch den Brennpunkt der rothen Strahlen gehen, so würde der Brennpunkt der violetten Strahlen sich 0·434 M^m. vor derselben befinden, und damit er auf die Netzhaut rückte, müsste das violette Object dem Auge auf 26″ genähert werden.

Die Untersuchungen von Fraunhofer, Helmholtz, Matthiessen an ihren eigenen Augen zeigten, dass die Zerstreuungskraft des menschlichen Auges ungefähr der eines Wasserauges entspricht, aber doch etwas grösser ist, als die der letzteren wäre. Durch eine Convexlinse $^1/_{26}$ — wir werden sehen, dass wir die Brechkraft der Linsen durch den reciproken Werth ihrer Brennweite ausdrücken können — liesse sich die Grösse der chromatischen Aberration des Wasserauges ausdrücken, d. h. wenn wir mit einem solchen Auge einen unendlich weit entfernten rothen Lichtpunkt deutlich sehen, so müssen wir eine Concavlinse von 26″ Brennweite vorsetzen, um von einem unendlich entfernten violetten Punkte ein scharfes Bild zu erhalten, und wenn wir mit einem solchen Auge ein in der Entfernung von 26″ gelegenes violettes Object scharf wahrnehmen, so müssten wir eine Convexlinse von 26″ B. W. vor dasselbe setzen, falls das Object seine Farbe aus Violett in Roth änderte und die scharfe Wahrnehmung sich nicht trüben sollte. Die chromatische Aberration im Auge Fraunhofer's nun betrug, wenn er mit dem Faden von dem (rothen) Strahl *C* des Spectrums zum (blauen) Strahl *G* ging, bei Versuchen mit verschiedenen Ocularlinsen $^1/_{18}$—$^1/_{24}$; in Helmholtz's Auge, das rothe Object in 8′, violette in $1^1/_2$′, als äusserste Entfernung scharf zu sehen vermag, ist sie gleich $^1/_{22}$.

Unter gewöhnlichen Verhältnissen erscheinen weisse Flächen, für welche das Auge genau accommodirt ist, nicht von farbigen

Digitized by Google

Säumen umgeben. Die Netzhaut steht hierbei nämlich an der Stelle des Schirmes *C*. Da in diesem Falle die grünen Strahlen sich vollständig und die gelben nahezu in einem Punkte einigen, anderseits die Zerstreuungskreise von Roth und Violett gleich gross sind, so müsste der Zerstreuungskreis des Leuchtpunktes auf der Retina in der Mitte grüngelb, am Rande purpurn erscheinen. Dass wir davon Nichts wahrnehmen, mag sich daraus erklären, dass, wie sich Helmholtz ausdrückt, die lichtstärksten Farben, Gelb und Grün, hierbei genau in einen Punkt vereinigt werden, während der Purpurrand zu schmal und verhältnissmässig zu lichtschwach ist, um wahrgenommen zu werden. Ferner haben Maxwell und Max Schultze darauf hingewiesen, dass durch die gelbe Farbe der Macula lutea die chromatische Aberration des Auges möglicher Weise in der Art zum Theile corrigirt wird, dass im gelben Fleck eine gewisse Absorption der blauen Strahlen stattfindet.

Bei ungenauer Accommodation kann man sich von der Farbenzerstreuung des Auges auf verschiedene Weise überzeugen, am schönsten und leichtesten auf jenem Wege, den Wilhelm von Bezold [1]) in neuerer Zeit eingeschlagen hat. Am besten ist: Man betrachte mit kurzsichtigem oder durch Convexgläser kurzsichtig gemachtem Auge ein Reihe abwechselnd schwarzer und weisser concentrischer Ringe, umgeben von weissem Grunde. Sowie man die Figur eine Strecke weit über den Fernpunkt hinausbringt, so dass sie nur noch undeutlich erscheinen kann, so sieht man bei einer bestimmten Entfernung die hellen Ringe im Zerstreuungsbilde dunkel und die dunkeln hell. Dabei aber sind die Zerstreuungsbilder gefärbt, die hellen Ringe haben eine bläuliche, die dunkeln eine röthlichbraune Farbe. Besonders auffallend ist, wie ich aufmerksam machen will, die bläuliche Färbung im Vergleiche zur weissen Farbe des die Figur umgebenden weissen Papiers. Da bei Betrachtung der in Rede stehenden Zeichnung mit einfarbigem Lichte keine Farben-, sondern nur Helligkeitsdifferenzen auftreten, so liefert das beschriebene Phänomen einen ausgezeichneten Beweis für das Bestehen der chromatischen Abweichung im Auge.

Wenn wir nach dem früher Gesagten von farbigen Säumen der Objecte nicht beirrt werden, so muss doch nach der Theorie die Schärfe der Wahrnehmung unter diesem Refractionsfehler leiden, indem das Bild eines Punktes auf der Netzhaut nie wieder ein Punkt sein kann,

[1]) Ueber Zerstreuungsbilder auf der Netzhaut, in Gräfe's Archiv. XIV. 2, 1868. pag. 1. und XV. 3, 1869. pag. 281.

Digitized by Google

sondern stets ein Zerstreuungskreis sein muss. Schon Fraunhofer machte darauf aufmerksam, dass es „der Mühe werth sei, bei Berechnung achromatischer Objective auch auf die Farbenzerstreuung des Auges Rücksicht zu nehmen und diese Abweichung durch die Objective zu vernichten," allein Helmholtz konnte sich nicht überzeugen, dass, wenn er sein Auge durch vorgesetzte Linsen achromatisch machte, die Schärfe „merklich" zugenommen hätte. Trotzdem hat Fick, trotz der späteren Einwände Bolling Pope's, ziemlich überzeugend nachgewiesen, dass die sogenannte Irradiation, d. i. die Verbreiterung heller Objecte, welche auch bei möglichst vollkommen genauer Accommodation sichtbar ist, zum Theile aus der chromatischen Abweichung des Auges erklärt werden kann.

Der Fehler der chromatischen Aberration ist also der eine Refractionsfehler, welcher in jedem Auge vorkommt und nach unserer Ausdrucksweise ungefähr einer Linse von $^1/_{20}$ gleich gesetzt werden kann. Es ist klar, dass wenn es Augen geben würde, in welchen dieser Refractionsfehler eine bedeutendere Grösse erreichte, das undeutliche Erscheinen der Objecte und das Auftreten farbiger Säume an denselben in der Art störend werden könnte, dass man auf eine Correction dieser Anomalie bedacht sein müsste. Allein es ist mir, wenn ich von den Farbenerscheinungen, die durch die diffuse Trübung der Medien besonders bei Glaucom, sowie durch überfliessendes Conjunctivalsecret bei verschiedenen Conjunctivalkrankheiten auftreten, absehe, nicht bekannt, dass bisher ein derartiger Fall beobachtet worden wäre, und da ich selbst über diesen Gegenstand nichts Einschlägiges vorzubringen weiss, so haben wir hiemit den einen Refractionsfehler des Auges abgethan.

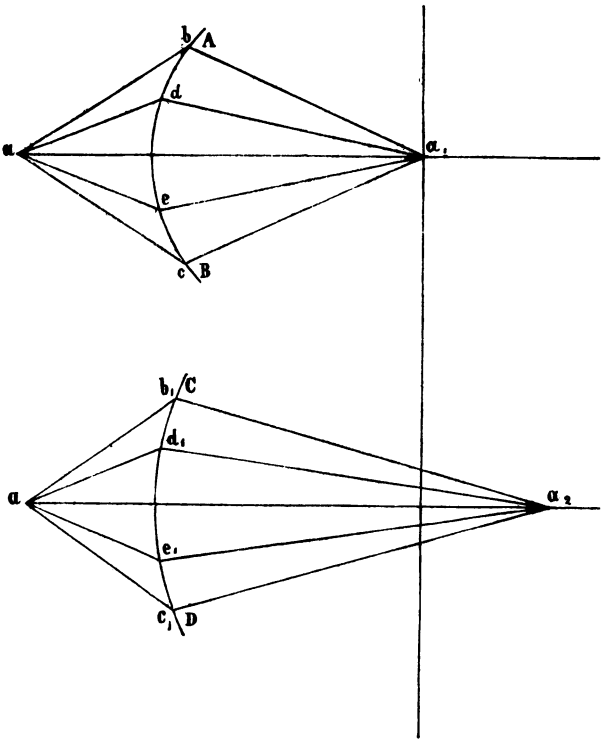
Der zweite Refractionsfehler des Auges ist der der monochromatischen Aberration. Derselbe besteht darin, dass falls immer nur einfarbiges Licht auf das Auge fallen würde, die Strahlen, die von einem Lichtpunkte ausgehen, dennoch nicht wieder in Einem Punkte sich sammelten. Dies kann wieder mannigfache Gründe haben.

Nehmen wir an, es wäre (Fig. 8) *AB* der verticale Meridian einer brechenden Fläche, so kann es geschehen, dass die Strahlen *ab*, *ac*, *ad*, *ae*, welche von dem in der Axe des optischen Systems liegenden Punkte *a* ausgehend auf denselben auftreffen, hinter demselben wieder in Einem Punkte a_1 vereinigt werden, dass dagegen die Strahlen, welche von *a* aus auf den horizontalen Meridian *CD* fallen ab_1, ac_1, ad_1, ae_1, nicht in der gleichen Entfernung hinter der brechenden Fläche, sondern z. B. in einer grösseren, in a_2, sich sammeln. Dadurch wird es unmöglich gemacht, dass ein deutliches Bild des Punktes *a* über-

Digitized by Google

haupt zu Stande komme. An jener Stelle z. B., an welcher die Verticalstrahlen in Einem Punkte sich kreuzen, schneidet das horizontale Strahlenbündel einen durch a_1 gehenden Schirm in Form einer

Fig. 8.



geraden (horizontalen) Linie, das Bild des leuchtenden Punktes ist also an dieser Stelle kein Punkt, sondern eben eine horizontale Linie.

Es kann aber andererseits geschehen, dass die Strahlen, die in einem einzigen Meridian auf das brechende System fallen, nicht zu Einem Punkte sich einigen, und hierbei ist wieder zweierlei möglich. Entweder es folgen die auf die verschiedenen Abschnitte eines und desselben Meridians fallenden Strahlen gar keinen bestimmten Brechungsgesetzen, oder aber es einigen sich immer jene zwei Strahlen, welche mit der Axe (natürlich nach entgegengesetzten Seiten hin) gleiche Winkel bilden, z. B. die Strahlen *ab* und *ac*, *ad* und *ae*.

Digitized by Google

Unsere sphärischen Linsen zeigen die letztere Abweichung. Die in den verschiedensten Meridianen unter gleichem Winkel auf die Linse fallenden Strahlen haben einen gemeinsamen Sammelpunkt, während die Strahlen, die durch einen jeden einzelnen Meridian durchtreten, je nach dem Winkel, den sie mit der Axe einschliessen, verschiedene Vereinigungsstellen zeigen, und zwar liegt der Kreuzungspunkt der Randstrahlen der Linse zunächst, jener der centralen Strahlen zumeist von der Linse entfernt. Es entsteht hierdurch Undeutlichkeit im Bilde eines einfarbiges Licht aussendenden Objectes, welche eben dadurch gesetzt wird, dass das Bild eines Punktes immer ein Zerstreuungskreis sein muss. Den genannten Fehler unserer sphärischen Linsen und der aus denselben zusammengesetzten optischen Instrumente bezeichnet man als sphärische Aberration, als Aberration wegen Kugelgestalt der Oberflächen.

An sphärischer Aberration nun leidet das Auge nicht, und zwar aus dem einfachen Grunde, weil die brechenden Flächen in demselben nicht Abschnitte einer Kugel, nicht sphärisch gekrümmt sind, wohl aber leidet es an monochromatischer Abweichung im Allgemeinen und zwar an den beiden Arten derselben. Weder werden die Strahlen, die in Einem Meridian auffallen, in Einen Punkt vereinigt, ohne dass sie aber dabei den für sphärische Linsen geltenden Gesetzen folgen würden, noch kommt es, falls wir diese Irregularität als nicht existirend annehmen wollen, zu einer Vereinigung der die verschiedenen Meridiane passirenden Strahlen. Es hat dieser Fehler des Auges, der gewöhnlich den Namen des Astigmatismus führt — ein Wort, das aus α privativum und στίγμα, Punkt, zusammengesetzt ist und soviel sagen will, dass das Bild eines Punktes beim Bestehen dieses Fehlers kein Punkt mehr sein kann — es hat, sage ich, dieser Fehler des Auges, welcher dessen zweiter Refractionsfehler ist, eine viel höhere Bedeutung, wie jener der chromatischen Aberration. Wir können ihn aber erst dann mit Erfolg besprechen, wenn wir andere Abweichungen des Auges, die ebenfalls den Namen der Refractionsfehler führen, vorerst erörtert haben.

Falls wir nämlich gänzlich davon absehen, dass das Auge an Fehlern der Refraction, an chromatischer und monochromatischer Aberration leidet, falls wir annehmen, dass die von einem gemischtes Licht aussendenden Punkte ausgehenden Strahlen durch den brechenden Apparat des Auges sämmtlich wieder in Einen Punkt vereinigt werden, dann können durch die Lage, welche der die Bilder auffangende Schirm, die Netzhaut, zum Brennpunkte des diop-

Digitized by Google

trischen Systems hat, Verhältnisse gesetzt werden, durch welche das Auge den Anforderungen, die wir an dasselbe zu stellen berechtigt sind, nicht mehr gerecht zu werden vermag.

Ein gut accommodirendes Auge entspricht den weitgehendsten Forderungen, wenn im Zustande der Ruhe parallel auffallende Strahlen auf der percipirenden Netzhautschichte zur Vereinigung kommen, denn in Folge dieses Refractionszustandes vermag das Auge noch unendlich weit entfernte Objecte, und durch sein Accommodationsvermögen noch Objecte, die einige Zoll vor dem Auge liegen, deutlich und scharf zu sehen.

Es kann nun geschehen, dass parallele Strahlen nicht auf der percipirenden Netzhautschichte, sondern vor oder hinter derselben vereinigt werden. In ersterem Falle werden unendlich entfernte Objecte nicht deutlich gesehen. Erst indem wir das Object aus der unendlichen Entfernung in die Endlichkeit rücken, bewegt sich dessen Bild nach rückwärts gegen die Netzhaut zu. Bei einer bestimmten Annäherung des ersteren an das Auge wird endlich das Bild auf die Netzhaut fallen, die Wahrnehmung wird deutlich werden. Ein derartiges Auge sieht also nur bis zu einer gewissen endlichen Entfernung, es erreicht nicht jene, bis zu welcher ein Auge überhaupt sehen soll, man sagt: es ist kurzsichtig.

Geschieht es dagegen, dass parallele Strahlen nicht auf und nicht vor, sondern hinter der Netzhaut — wir werden fernerhin unter „Netzhaut“ die das Licht percipirende Schichte dieser Membran verstehen — sich sammeln, dann ist einem solchen Auge selbst die unendliche Entfernung zu nahe, da ja Strahlen, die von dorther kommen, bereits hinter der Netzhaut sich durchkreuzen; daher divergent auffallende, d. i. von einem endlichen Punkte kommende Strahlen um so weiter hinter der Netzhaut vereinigt werden, die durch sie auf der Netzhaut formirten Bilder um so undeutlicher werden. Ein derartiges Auge sieht sicherlich über jene Distanz hinaus, bis zu welcher zu sehen einem Auge gut ansteht, man kann es daher im Gegensatze zum kurzsichtigen übersichtig nennen.

Die beiden eben genannten Anomalien, die Kurz- und Uebersichtigkeit, können auf zweierlei Weise zu Stande kommen. Es kann nämlich bei unveränderter Beschaffenheit des dioptrischen Apparates eines in Betreff der Refraction als normal anzusehenden Auges zunächst die Länge der Augenaxe von der normalen abweichen. Wird sie im Vergleiche zur letztern zu kurz, dann liegt die Netzhaut vor dem Vereinigungspunkte paralleler Strahlen, das Auge ist

Digitized by Google

übersichtig, hat die Augenaxe dagegen eine übergrosse Länge, dann liegt die Netzhaut hinter dem Brennpunkte des dioptrischen Apparates, das Auge ist kurzsichtig. Die Kurz- und Uebersichtigkeit, die auf die eben genannte Weise zu Stande kämen, wären natürlich eo ipso nicht in einer Anomalie der Brechkraft des dioptrischen Apparates, in einer Anomalie der Refraction begründet, da ja das dioptrische System des Auges in diesen Fällen eine normale Brechkraft besitzt; und ebenso wenig, als es uns in den Sinn kommen wird, bei Untersuchung mehrerer gleich construirter optischer Instrumente die Refraction eines derselben als fehlerhaft zu bezeichnen, weil der die Bilder auffangende Schirm nicht im richtigen Abstande von der brechenden Linse steht, ebenso wenig ist es begründet, die Kurz- und Uebersichtigkeit, die auf genannte Weise entstanden, als einen Refractionsfehler des Auges anzusehen.

Doch können die genannten Anomalien auch dadurch zu Stande kommen, dass bei unveränderter Länge der Axe des normalen Auges die Brechkraft des dioptrischen Apparates im Vergleiche mit jener des Normalauges, einmal zu gross, das andere Mal zu klein ist. Dann wird aus der übergrossen Brechkraft des dioptrischen Apparates Kurzsichtigkeit resultiren, denn der Brennpunkt dieses Systems wird vor der Netzhaut liegen, dann wird die zu geringe Brechkraft Ursache von Uebersichtigkeit werden, denn hinter der Netzhaut wird hierbei der Vereinigungspunkt paralleler Strahlen zu suchen sein. In diesen Fällen wären wir vielleicht eher im Rechte, von Refractionsfehlern des Auges zu reden, wir sind es aber doch, wenn wir die Sache genauer beleuchten, selbst dann nicht. Derartige Augen werden nämlich nicht anomal, sondern normal gebaut sein, sowie die Augenaxe sich in ihrer Länge der Brechkraft des dioptrischen Apparates anpasst, im Auge mit zu starker Brechkraft entsprechend verkürzt, im Auge mit zu geringer entsprechend verlängert ist. Auch diese Refractionsanomalien sind nur desshalb solche, weil ein Missverhältniss zwischen der Lage des Brennpunktes des brechenden Systems mit jener des Schirmes besteht, und sowie von mehreren Loupen von verschiedener Brennweite wir wegen Verschiedenheit der Brennweiten nicht die eine als normal, die andere aber als fehlerhaft bezeichnen können, ebenso wenig besteht selbst in Augen mit verschiedener Brechkraft wegen der letzteren ein Fehler der Refraction. Und in der That kann es ja der Fall sein, dass das normale Auge nicht immer dieselbe Brechkraft aufweist, sondern vielmehr verschiedene Refractionszustände und dem entsprechend verschiedene Längen der Augenaxe besitzen kann.

Digitized by Google

In der Besprechung der uns beschäftigenden Anomalien werden wir zunächst jene behandeln, welche auf dem Missverhältnisse zwischen der Lage des Brennpunktes des dioptrischen Apparates und der Netzhaut beruhen, und dann zu den Refractionsfehlern übergehen. Da wir in letzter Hinsicht den Fehler der chromatischen Aberration bereits abgesprochen, bleibt uns nur jener der monochromatischen Abweichung, der Astigmatismus, zur Erörterung übrig. Das Normalauge werden wir insoferne in Betracht ziehen, als dasselbe durch die im zunehmenden Alter auftretenden Aenderungen der Refraction und des Accommodationsapparates in die Hände des Arztes getrieben wird.

In unserer nächsten Vorlesung aber wollen wir unsere Aufmerksamkeit einem Instrumente zuwenden, durch dessen Hilfe uns ein theilweiser Einblick in die Refractionsverhältnisse der einzelnen Theile des dioptrischen Apparates des lebenden Auges gestattet wird, ich meine das Helmholtz'sche Ophthalmometer.

Vierte Vorlesung.

Ophthalmometrie.

Wenn man bedenkt, wie sehr die über den Bau des Auges gemachten theoretischen Angaben dadurch gewinnen müssen, dass wir sie durch Messungen am lebenden Auge bewahrheiten oder wenigstens zu bewahrheiten versuchen, dann begreift man die Wichtigkeit der sogenannten Ophthalmometrie.

Die Krümmung der Hornhaut zu ergründen, muss die erste Aufgabe aller hierher bezüglichen Untersuchungen sein. Wenn das Licht aus Luft in die Cornea, oder falls diese als solche, einem Uhrglase gleich wirkend, keinen Einfluss auf die Brechung des Lichtes ausüben sollte, in das die Cornealkrümmung darbietende Kammerwasser übertritt, wird wegen der Differenz der Brechungsindices der Luft und des Kammerwassers eine weit grössere Ablenkung der Strahlen stattfinden müssen, als wenn das Licht auf seinem weiteren Wege aus dem Kammerwasser in die Linse, und von dieser in den Glaskörper gelangt. Es wird demnach die Hauptbrechung der Strahlen an der vordersten Grenzfläche des Auges stattfinden, die Krümmung dieser letztern wird den hauptsächlichsten Einfluss auf den Gang der Lichtstrahlen im Auge überhaupt ausüben.

Digitized by Google

Bereits im Jahre 1801 hat Thomas Young den Halbmesser der Hornhaut für sein eigenes Auge berechnet. Indem er den Hornhautdurchmesser direct mit dem Zirkel bestimmte, und die Hornhauthöhe ebenfalls nach einer directen Methode mit bewundernswerther Feinheit mass, konnte leicht aus diesen beiden Werthen jener des Krümmungsradius durch Rechnung gefunden werden. Und in der That können wir uns des Staunens darüber nicht erwehren, zu welch' genauem Resultate Young nach seiner Methode, die in der Messung der Hornhauthöhe jedoch ganz ungewöhnliche Schwierigkeiten darbietet, gelangte.

Kohlrausch war nach ihm der Erste, welcher vor 30 Jahren die Krümmung der Hornhaut im lebenden Auge zu messen versuchte. Die Hornhaut ist einem Convexspiegel von scharfer Krümmung vergleichbar. Ein jeder Convexspiegel entwirft von allen in unendlicher und positiv endlicher Entfernung gelegenen Objecten verkleinerte, aufrechte, virtuelle Bilder und zwar ist unter übrigens gleichen Umständen das Bild um so kleiner, je stärker die Krümmung der spiegelnden Fläche, je kleiner also der Radius derselben sich darstellt. Andererseits ist es klar, dass, wenn die Grösse des Objectes und dessen Abstand vom Spiegel bekannt ist und die Grösse des entworfenen Bildes gemessen werden kann, sich daraus auch die Krümmung des spiegelnden Apparates wird berechnen lassen. Dieser letztere Weg wurde auch von Kohlrausch eingeschlagen, um einen Aufschluss über die Hornhautkrümmung zu erlangen. Als Object dienten zwei Lichtflammen, a und b, oder vielmehr der Abstand, ab, der beiden Lichtflammen von einander. Die Grösse des Bildes auf der Hornhaut war durch die Linie $a_1\ b_1$ gegeben, welche die von der Hornhaut entworfenen kleinen Bildchen, a_1 und b_1, der beiden Lichtflammen mit einander verband. Diese Grösse $a_1\ b_1$ wurde nun in der Art bestimmt, dass man mit einem Fernrohre, in dessen Innern zwei parallele Spinnfäden mittelst einer Schraube gegen einander gerückt und von einander entfernt werden konnten, nach dem Auge blickte und die Spinnfäden so verschob, dass je ein Faden mit je einem der beiden Hornhautbildchen zusammenfiel. Hierauf wurde das Auge entfernt, an seine Stelle trat ein genauer Massstab, es wurden dann direct durch das Fernrohr die Theilstriche abgelesen, mit denen die Spinnfäden zusammenfielen, die Grösse des Hornhautbildchens war damit bestimmt. Aus dieser, sowie aus der Grösse des Objectes ab und aus der Entfernung des Auges von ab wurde der Halbmesser der äussern Hornhautfläche in einem Dutzend Augen annähernd berechnet.

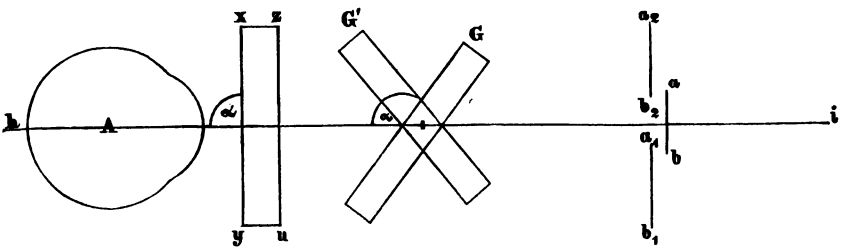
Sieben Jahre nach Kohlrausch, im Jahre 1846 veröffentlichte Senff in Wagner's Handwörterbuche der Physiologie gleichfalls

Digitized by Google

Resultate von Messungen der Hornhautkrümmung. Nach welcher Methode er dieselben vollführte, ist von ihm nicht angegeben, doch hat sie sich nach Volkmann's Angaben darüber nicht wesentlich von jener Kohlrausch's unterschieden. In jedem Falle sind diese Messungen geeignet, in hohem Grade unser Interesse in Anspruch zu nehmen, da Senff nicht blos den Halbmesser im Scheitel der Hornhaut berechnete, sondern auch den später zu erörternden Winkel zwischen Gesichtslinie und Hornhautaxe aufdeckte, und die Ellipticität der Hornhaut erkannte und mass.

Gegen die Methode von Kohlrausch und jede ähnliche, die zum Zwecke hat, das Hornhautbild im lebenden Auge direct zu messen macht Helmholtz den Einwurf, dass es nicht möglich sei, das lebende Auge genau zu fixiren, es daher nicht im Bereiche der Möglichkeit liege, sich zu versichern, dass, nachdem man die Marke des Massstabes oder den Spinnfaden auf den Einen Rand des Hornhautbildes gestellt und man nun dazu übergeht, dies auch beim entgegengesetzten Bildrande zu thun, das untersuchte Auge nicht inzwischen eine minimale Bewegung vorgenommen habe. Da aber, falls die Messung eine genaue sein soll, die Bilder eine bestimmte Grösse nicht überschreiten dürfen, ihr Durchmesser etwa nicht mehr als $^1/_4$ des Krümmungsradius der spiegelnden Fläche betragen darf, so wird sich jeder Fehler in der Messung des Bildes bei der Berechnung des Radius vervierfachen. Aus diesem Grunde muss man vor Allem darauf bedacht sein, eine Messung des Hornhautbildchens in der Art vorzunehmen, dass es auf geringe Bewegungen des untersuchten Auges hierbei nicht ankommt. Dieses Problem wird durch das Helmholtz'sche Ophthalmometer gelöst.

Fig. 9.



Das Princip desselben ist folgendes: Halte ich (Fig. 9) eine Glasplatte mit vollkommen ebenen und parallelen Seitenflächen ($xyzu$) so zwischen mein Auge A und ein Object ab, dass die Gesichtslinie hi meines Auges auf den Seitenflächen der Platte senkrecht steht, der

Digitized by Google

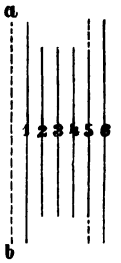
Winkel α also 90^0 beträgt, dann übt die Glasplatte keinerlei Einfluss auf die scheinbare Lage des Objectes. ab erscheint mir dort, wo es wirklich ist. Dies ist aber nicht mehr der Fall, sowie die Glasplatte G die auf meine Gesichtslinie senkrechte Stellung verlässt, einen schiefen Winkel mit ihr bildet. Drehe ich die Platte um eine verticale Axe etwa so, dass der Winkel bei α ein stumpfer wird, dann erscheint mir ab nicht mehr dort, wo es wirklich ist, sondern in der Horizontalebene von links nach rechts verschoben und gleichzeitig meinem Auge etwas genähert, in $a_1 b_1$. Hätte ich die Platte $xyzu$ durch einen Horizontalschnitt, der die Gesichtslinie enthält, in eine obere und untere Hälfte, G und G' zerschnitten und drehe ich nun die obere Hälfte der Platte nach rechts, die untere nach links, dann wird durch die erstere das Bild des Objectes ab nach rechts und etwas nach vorne, durch die letztere nach links und etwas nach vorwärts verschoben. Indem ich durch die Platten hindurchblicke, erscheint mir, bei einer bestimmten Grösse der Drehung derselben das Object verdoppelt, die beiden, nach entgegengesetzten Seiten wandernden Bilder entfernen sich umsomehr von einander, je mehr sich die beiden Platten um entgegengesetzte Winkel drehen, und es wird der Abstand der Bilder a_1 b_1 und a_2 b_2 von der Gesichtslinie ein gleich grosser sein, falls die Drehung um gleiche entgegengesetzte Winkel stattfindet. Allein bevor es zur wirklichen Verdopplung der Bilder kommt, scheint sich das Object nach beiden Seiten hin zu verlängern, die mittleren Theile der Doppelbilder decken sich noch, während beiderseits ihre Enden vorragen, bis endlich bei einem bestimmten Grade der Drehung der Moment kommt, in welchem das Object um seine eigene Länge verschoben erscheint, wobei also der Anfangspunkt des Objectes auf dessen Endpunkt fällt, die Punkte b_2 und a_1 einander decken. Es ist begreiflich, dass je nach der Grösse des Objectes es einer grösseren oder geringeren Drehung bedürfen wird, um den Anfangspunkt des Objectes auf dessen Endpunkt zu stellen, und es ist ebenso klar, dass einer bestimmten Grösse des Objectes immer eine bestimmte Drehung der Platten entsprechen wird, dass man demnach aus der Grösse der Plattendrehung einen unfehlbaren Rückschluss auf die Grösse des Objectes machen kann. Man hätte z. B. ein Object ab von $2'''$ Länge und man müsste, um Anfangs- und Endpunkt desselben auf einander zu stellen, eine Drehung jeder der beiden Platten um 30^0 vornehmen. Man sollte nunmehr ein Object x messen, dessen Grösse nicht bekannt ist. Bringt man dasselbe an die Stelle von ab und findet, dass, damit x um seine eigene Länge verschoben werde, eine Drehung

Digitized by Google

jeder der beiden Platten um 30^0 vorgenommen werden müsse, so folgt daraus, dass das zu messende Object eine Länge von 2‴ hat.

Man kann demnach, wenn die Messungen mit einem bestimmten Plattenpaare vorgenommen werden, die Drehungswerthe empirisch bestimmen, indem man feststellt, welche Drehungsgrössen Objecten von verschiedener, bekannter Grösse entsprechen. Man kann z. B. einen Millimetermassstab, auf welchem jeder Millimeter in 10 Theile getheilt ist, als Probeobject nehmen. Unter Zuhilfenahme eines vergrössernden Instrumentes wird man leicht im Stande sein, den Abstand zweier, $^1/_{10}$ Millimeter von einander abstehender Theilstriche zu erkennen. Wenn sich die Platten zu drehen beginnen, so werden sämmtliche Theilstriche des Massstabes doppelt erscheinen, und bei der Drehung der Platten um eine bestimmte Anzahl von Graden wird (Fig. 10) der Theilstrich 2 auf den Theilstrich 1 fallen, dieser letztere dann natürlich um $^1/_{10}$ Millimeter zur Seite nach *ab* geschoben sein, während 6 auf 5 gerückt ist. Die Drehungsgrösse notirt man und fährt mit der Drehung der Platten fort, in der Art, dass der Reihe nach der 3., 4., 5., 6. Theilstrich u. s. f. auf den ersten fällt. Man misst hiebei Objecte von der Grösse von 0·1, 0·2, 0·3, 0·4 Millimeter u. s. w. und man fährt so mit der Messung bis etwa zu einer Objectgrösse von 4 M^m. fort. Die gefundenen, mit der nöthigen Sorgfalt bestimmten Drehungsgrössen trägt man mit den zugehörigen linearen Werthen in eine Tabelle ein. Will man mit dem nämlichen Instrumente Objecte von unbekannter Grösse, die aber eine lineare Ausdehnung von 4 M^m. nicht überschreiten, bestimmen, so braucht man nichts Anderes zu thun, als das Object durch Plattendrehung zu verdoppeln, die Drehungsgrösse abzulesen und in der Tabelle den dieser Drehungsgrösse entsprechenden linearen Werth aufzusuchen. Wollte man die Genauigkeit in der empirischen Bestimmung noch weiter treiben, so könnte der Massstab eine noch feinere Eintheilung tragen. Es muss bemerkt werden, das der Abstand des Objectes vom Instrumente den Werth der Drehungsgrössen nicht beeinflusst, es daher nicht nothwendig ist, das zu messende Object in jene Entfernung zu bringen, in welcher die empirische Bestimmung am Massstabe vorgenommen wurde.

Fig. 10.

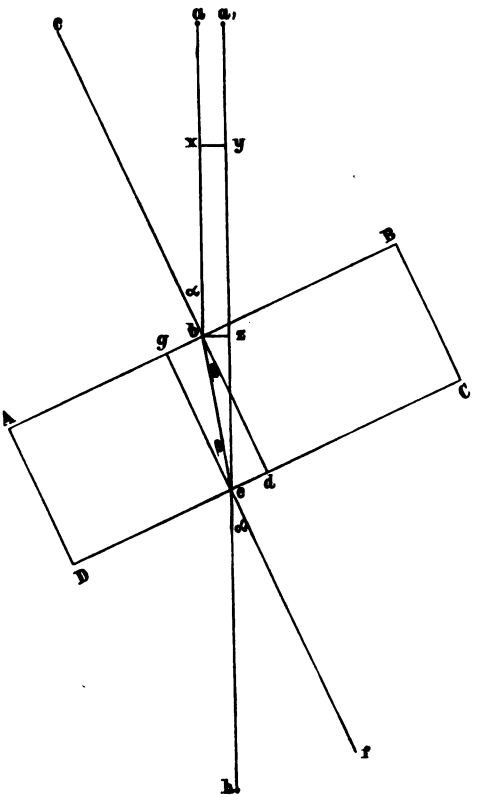


Die Richtigkeit des letzteren Satzes ergibt sich aus der Berechnung. Durch diese lässt sich gleichfalls aus gewissen Factoren der Werth der Plattendrehung bestimmen. Ist (Fig. 11) *ABCD* der Durchschnitt einer Glasplatte mit planen und parallelen Wänden, so dass

Digitized by Google

AB und CD gerade, unter einander parallele Linien darstellen, und fällt ein Strahl ab schief auf AB, so stellt der Winkel $abc = \alpha$ den Einfallswinkel dar, falls bc in b auf AB senkrecht steht, mithin das Einfallsloth repräsentirt. Der Strahl ab wird beim Uebergang in Glas als dichteres Medium zum Einfallslothe gebrochen, so dass der Brechungswinkel $dbe = \beta$, welchen der gebrochene Strahl be mit der Verlängerung des Einfallslothes bd einschliesst, kleiner als der Einfallswinkel ist. Ist der Strahl be in e eingelangt, so tritt er wieder aus Glas in Luft zurück. ef sei das in e errichtete Einfallsloth und eg dessen Verlängerung. Der austretende Strahl wird vom Einfallslothe gebrochen und da er wieder in das Medium eintritt, aus welchem er zuerst gekommen und die beiden Grenzflächen AB und CD des Zwischenmediums einander parallel sind, so ist es klar, dass der Winkel feh gleich ist dem Winkel $abc = \alpha$, sowie das eh parallel mit ab. Fällt der Strahl eh in das Auge des Beobachters, so sieht dieses letztere den leuchtenden Punkt a nicht dort, wo er ist, sondern in der letzten Richtung des einfallenden Lichtes, in einem Punkte, den wir erhalten, wenn wir eh nach rückwärts verlängern, etwa in a_1. Eine zwischen den beiden Parallelen ab und $a_1 h$ gezogene Senkrechte xy ist der Ausdruck für die Grösse der Verschiebung, welche der Leuchtpunkt durch die Glasplatte erlitten. Es ist unsere Aufgabe, diese Grösse zu berechnen. Fällen wir von b die Senkrechte bz auf $a_1 h$, so ist begreiflicher Weise $xy = bz$. Nun ist bz als Kathete des rechtwinkligen Dreieckes bze gleich der Hypotenuse multiplicirt mit dem Sinus des der Kathete gegenüber liegenden Winkels,

Fig. 11.



Digitized by Google

daher $$bz = be.\ \sin\ bez \quad (I).$$

be ist aber gleichzeitig auch die Hypotenuse des rechtwinkeligen Dreieckes bed und als solche gleich einer Kathete, etwa bd, gebrochen durch den Cosinus des dieser Kathete anliegenden spitzigen Winkels, d. i. des Winkels β, daher

$$be = \frac{bd}{\cos\ \beta}$$

Ferner ist $$\sphericalangle\ bez = \sphericalangle\ gez - \sphericalangle\ geb = \alpha - \beta,$$

da $gez = hef = \alpha$ als Scheitelwinkel, und $geb = ebd = \beta$ als innere Wechselwinkel.

Substituiren wir die Werthe von be und $\sphericalangle\ bez$ in der Gleichung I, so erhalten wir

$$bz = \frac{bd}{\cos\ \beta}.\ \sin\ (\alpha - \beta) = h.\ \frac{\sin\ (\alpha - \beta)}{\cos\ \beta},$$

wenn wir bd, welches uns die Dicke der Platten darstellt, mit h bezeichnen.

Die Verschiebung, welche 2 gleich dicke, aus gleichem Stoffe gefertigte, in entgegengesetzter Richtung um gleiche Winkel sich drehende Platten erzeugen, ist demnach

$$2h.\ \frac{\sin\ (\alpha - \beta)}{\cos\ \beta}$$

Wenn ich nun die Grösse eines Objectes dadurch gemessen, dass durch die Drehung der Platten Anfangs- und Endpunkt des Objectes aufeinandergestellt wurden, dann ist die Grösse des Objectes, G, durch die Grösse der Verschiebung gegeben, also

$$G = 2h\ \frac{\sin\ (\alpha - \beta)}{\cos\ \beta}$$

Um demnach ein Object mit Hilfe des Ophthalmometers direct zu messen, muss man kennen: 1. die Dicke der Platte [h], 2. den Einfallswinkel [α], 3. den Brechungswinkel [β]. Wir sehen, dass in der Formel der Abstand der Platten von dem zu messenden Objecte nicht vorkommt. Von den drei zur Berechnung nöthigen Grössen ist uns nur α, der Einfallswinkel, bekannt. Es ist die Einrichtung getroffen, dass wir am Instrumente direct den Winkel ablesen, um welchen die Platten aus der ursprünglichen Stellung herausgedreht wurden und damit ist der Einfallswinkel gegeben. Den Brechungswinkel β können wir berechnen, wenn uns der Brechungsindex n des Glases, aus dem

Digitized by Google

die Platten gefertigt sind, bekannt ist, denn es ist ja $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$, daher $\sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n}$.

Wir müssen uns also, um das Plattenpaar zu unseren Versuchen benützen zu können, Kenntniss von der Dicke der Platten und dem Brechungsexponenten des Glases zu verschaffen suchen. Die Bestimmung dieser beiden Factoren ist aber durchaus nicht leicht und überhaupt nicht Jedem möglich, während der ersterwähnte, empirische Weg zur Bestimmung der Drehungswerthe allgemein zugänglich ist. Hat man übrigens für die Platten einmal die Werthe von h und n bestimmt oder sich bestimmen lassen, so wird man sich gleichfalls eine Tabelle anlegen, in welcher den verschiedenen Werthen von α die entsprechenden von G zugesellt sind.

Das Ophthalmometer ist ein Fernrohr, an dessen vorderem Ende die beiden vollkommen planen und parallelen Platten in einem cubischen Kasten angebracht sind. Durch ein geeignetes Triebwerk wird es möglich gemacht, dass bei Drehung einer Schraube die beiden Platten um gleiche Winkel nach entgegengesetzten Seiten hin bewegt werden. Auf die feinere mechanische Construction des Instrumentes einzugehen, kann hier nicht am Platze sein. Man blickt durch das Fernrohr und die Platten nach dem zu untersuchenden Auge und misst auf die angegebene Weise die Dimension des von der Hornhaut entworfenen Bildes eines Objectes von bekannter Grösse. Das untersuchte Auge kann hiebei kleine Bewegungen vollführen, ohne dass dieser Umstand die Richtigkeit der Messung zu beeinträchtigen vermöchte, denn die Messung beruht auf dem Hervorrufen von Doppelbildern, die begreiflicher Weise ihre gegenseitige Lage nicht ändern können, wenn auch das Auge in toto verrückt wird.

Das Instrument gestattet nur die Messung von Objecten, welche eine Grösse von 4 $M^{m.}$ nicht überschreiten. Man kann es zwar durch eine einfache Vorrichtung auch für die Messung grösserer Objecte geeignet machen, doch ist dies für unsere Zwecke im Allgemeinen nicht nothwendig.

Handelt es sich um eine genaue Messung, so kommt es vor Allem darauf an, dass das zu messende Object ein solches sei, bei dessen Verdopplung mit grösster Schärfe der Moment angegeben werden kann, in welchem der Anfangspunkt des Objectes mit dessen End-

Digitized by Google

punkte zusammenfällt. Sind (Fig. 12) *a* und *b* zwei vertical über einander stehende Leuchtpunkte und *c* ein dritter solcher Punkt, so situirt, dass die von ihm auf die Verbindungslinie *ab* der beiden Leuchtpunkte *a* und *b* gefällte Senkrechte die letztere im Mittelpunkte *o* trifft, so sei *co* das zu messende Object Die genaue Messung dieser Linie mit Hilfe des Ophthalmometers wird keiner besonderen Schwierigkeit unterliegen, denn es wird hiebei möglich sein, mit ungemeiner Präcision das Bild gerade zu verdoppeln. Es wird dies (Fig. 13) dann

Fig. 12.

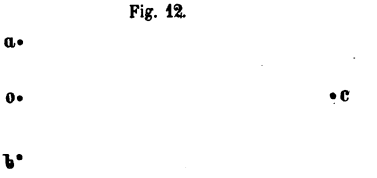
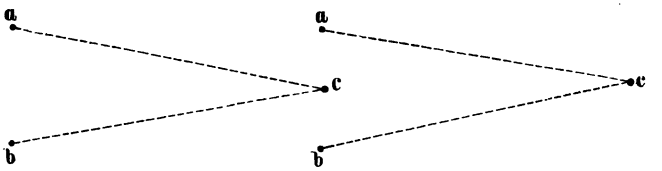


Fig. 13.

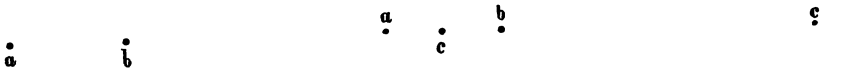


eintreten, wenn der Punkt *c* so zwischen die Punkte *a* und *b* gerückt ist, dass er mit ihnen in derselben Verticalen liegt. Dann steht der Endpunkt des Objectes auf dessen Anfangspunkte, dann werden die sechs Punkte, von denen die drei zusammengehörigen durch Linien verbunden sind, die obenstehende Lage haben. Die drei Punkte *a*, *b* und *c* können aber auch in Einer Geraden liegen (Fig. 14). Das zu messende

Fig. 14.

Object ist *oc*, jene Linie, welche *c* mit dem Halbirungspunkte von *ab* verbindet. Durch die Drehung der Platten muss hierbei *c* genau in die Mitte zwischen *a* und *b* gestellt werden, so dass die sechs Punkte wie in Fig. 15 angeordnet sind. Man muss gestehen, dass es viel leichter

Fig. 15.



ist, den Punkt *c* zwischen die vertical gestellten Punkte *a* und *b* zu schieben, als ihn genau in die Mitte der Horizontallinie *ab* zu stellen, da zur Erfüllung der ersteren Aufgabe ein sehr geringes, für die zweite jedoch ein ziemlich ausgebildetes Augenmass nothwendig ist. Doch ist es nicht zu umgehen, dass wenn man die Krümmung eines Meridians

Digitized by Google

einer brechenden Fläche bestimmen will, die Bilder der 3 leuchtenden Punkte sämmtlich in diesen Meridian fallen, sie selbst mithin in Einer Geraden angeordnet sind.

All' das Gesagte musste vorausgeschickt werden, um endlich zu den Messungsmethoden nach Helmholtz übergehen zu können. In einer Entfernung von 8′ von dem zu untersuchenden Auge O (Fig. 16), dessen Lage im Grossen und Ganzen gesichert wird, ist ein Massstab XY horizontal aufgestellt. Von O wird ein Loth OC auf XY gefällt. Der Fusspunkt C wird dadurch bestimmt, dass man an die Rückseite von YX, an jene Stelle, wo ungefähr der Endpunkt des Lothes hinfallen dürfte, einen Spiegel anbringt. Das Auge O sieht sein Bild im Spiegel; in dem Theilstriche, hinter welchem das Spiegelbild befindlich ist, liegt der gesuchte Punkt C. Vom Punkte C schneidet man nach beiden Seiten des Massstabes hin gleiche Stücke, CE und CF ab, so zwar, dass $CE = CF = \frac{1}{4} OC$ ist, demnach jede der Grössen 2′ beträgt, falls $OC = 8'$ gesetzt wird.

Im Punkte E sowie im Punkte F wird ein Schirm vertical, demnach senkrecht auf die Ebene der Zeichnung aufgerichtet. Der eine, etwa der in E stehende enthält zwei horizontal neben einander liegende rundliche Oeffnungen, während im Schirme bei F sich nur Ein derartiges Loch befindet. Eine im Punkte E errichtete Senkrechte muss durch den Mittelpunkt o der Linie ab, welche die Centra der Löcher des E-Schirmes mit einander verbindet, hindurchgehen, und ebenso liegt der Fusspunkt des Lothes, das von der Mitte c des Loches des F-Schirmes auf den Massstab fällt, in F. Es ist ferner $Eo = Fc$. Hinter jedem Schirme steht eine Lampe. Die 3 Schirmlöcher erscheinen dadurch als leuchtende Punkte. co ist das Object, dessen Bild von der Hornhaut des zu untersuchenden Auges erzeugt wird und mit Hilfe des Ophthalmometers gemessen werden soll. Dieses letztere, I, wird zwischen Massstab und zu untersuchendem Auge angebracht, gegen das Auge O gerichtet und für das zu prüfende Object eingestellt.

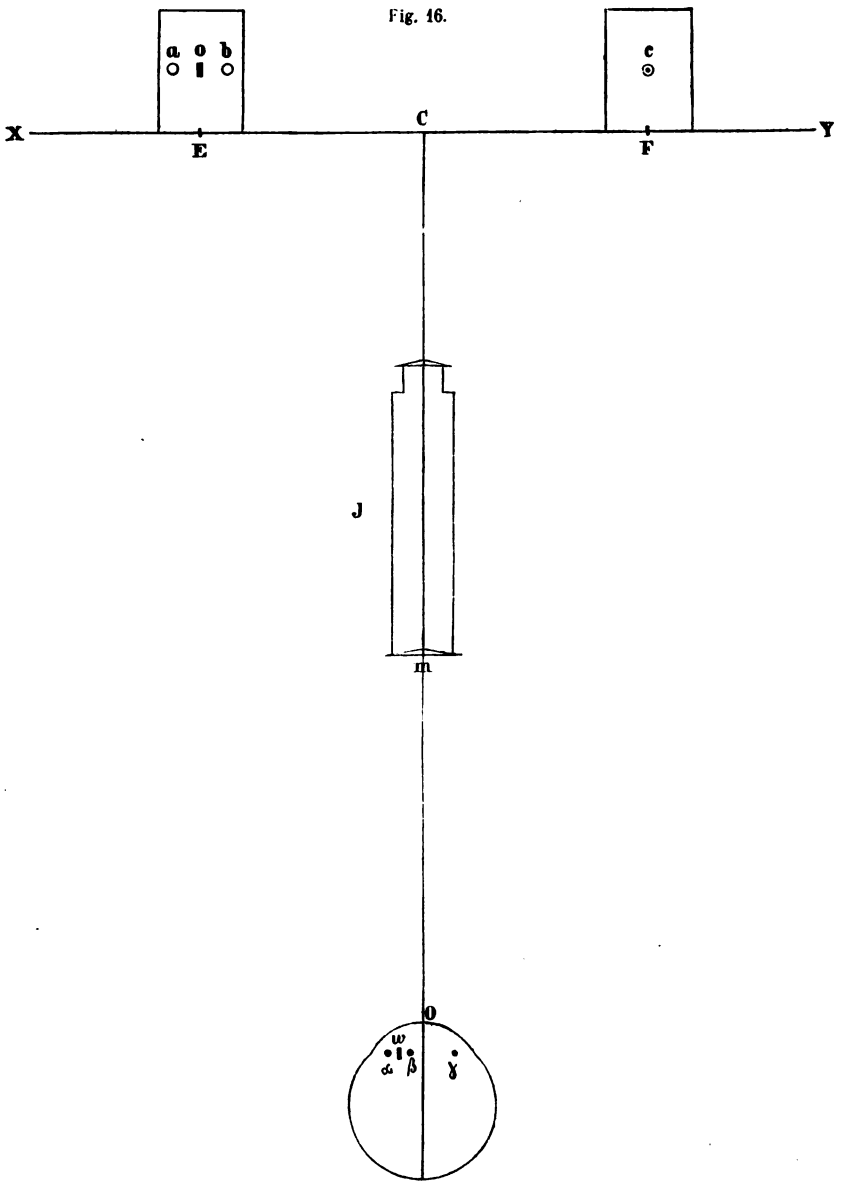
I. Bestimmung.

Will man zunächst die Krümmung der Hornhaut im Scheitelpunkte der Gesichtslinie messen, so wird das Auge O angewiesen, nach der Mitte des Ophthalmometers zu sehen. Um dies zu erzwecken, kann man an dem dem Auge O zugekehrten Ende des Instrumentes ein Fadenkreuz anbringen und das Auge nach der Mitte des Kreuzes m blicken lassen. Auf der Hornhaut sieht man nun die Bilder α, β, γ der

Digitized by Google

3 leuchtenden Punkte *a*, *b*, *c*. Man misst das Hornhautbildchen $\gamma\omega$, indem man die Platten so lange dreht, bis γ genau in der Mitte

Fig. 16.



zwischen α und β erscheint. Aus der Anzahl von Graden, um welche

Digitized by Google

die Platten hierzu gedreht werden mussten, ergibt die entworfene Tabelle (s. oben) die Grösse des Bildes.

Ist uns die Grösse des Bildes gegeben, so können wir, da uns die Grösse des Objectes und der Abstand desselben von der Cornea bekannt ist, auch den Krümmungshalbmesser der Hornhaut berechnen. Ein Convexspiegel entwirft von unendlich entfernten Objecten Bilder, welche im Brennpunkte des Convexspiegels stehen. Der Brennpunkt ist aber um den halben Krümmungshalbmesser von der hintern Spiegelfläche entfernt. In Anbetracht des kleinen Werthes des Krümmungshalbmessers der Hornhaut und der sehr geringen Brennweite können wir den Abstand des Objectes von 8′ als so gross annehmen, dass wir dessen Bild, ohne das Resultat nur in irgend merklicher Weise zu beeinträchtigen, in den Brennpunkt legen können. Nun verhält sich aber die Grösse des Objectes zur Grösse des Bildes, wie der Abstand des Objectes von der Spiegelfläche zum Abstande des Bildes von der letzteren.

Bezeichnen wir die Grösse des Objectes, co, mit b, die Grösse seines Bildes, $\gamma\omega$, mit β, den Abstand der Hornhaut von dem Maassstabe, CO, mit a, den Radius der Cornea mit r, daher die Spiegelbrennweite der letztern mit $\frac{r}{2}$, dann erhalten wir die Proportion

$$b:\beta = a:\frac{r}{2} = 2a:r$$

und daraus

$$r = \frac{2a}{b}.\beta$$

$\frac{2a}{b}$ ist in unserm Falle $= \frac{2 \times 8}{4} = 4$. Werden die Messungen immer in der gleichen Weise angestellt, so ist $\frac{2a}{b}$ eine unveränderliche Grösse, die daher nur ein für allemal berechnet zu werden braucht. Diese Grösse wird mit dem gefundenen Werthe des Hornhautbildes multiplicirt, und so erhält man den Werth für den Krümmungshalbmesser. Es ist klar, dass man diese Rechnung für alle Werthe des Hornhautbildchens im Vorhinein vollführen kann, so dass sich in den früher besprochenen Tabellen 3 Rubriken befinden, von denen die erste die Grösse der Drehung der Platten, die zweite die dazu gehörige Dimension des Hornhautbildchens und die dritte den dem letzteren entsprechenden Werth des Krümmungsradius enthält. Es genügt dann zu bestimmen, um wie viele Grade die Platten zum nöthigen Zwecke gedreht werden

Digitized by Google

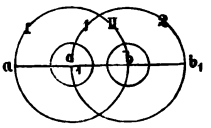
mussten. Die Tabelle gibt die Antwort, wie gross der Radius an der gemessenen Stelle sei. Da der ganze Schwerpunkt der Messungen in der richtigen Einstellung des Einen Leuchtpunktes in die Mitte der beiden anderen gelegen ist, so begnügt man sich nicht mit einmaliger Beobachtung, sondern zieht aus mehreren, z. B. 5 Messungen, welche derselbe oder verschiedene Untersucher vorgenommen, das Mittel.

II. Bestimmung.

Um ein System von Messungen in den verschiedenen Meridianen der Hornhaut vorzunehmen, muss es vor Allem wichtig sein, den mit der Mitte der Hornhaut zusammenfallenden Scheitel derselben ausfindig zu machen, falls die Gesichtslinie nicht durch die Mitte der Hornhaut hindurchgehen sollte.

Um dies zu erforschen, lassen wir zunächst wieder das Auge nach der Mitte des Ophthalmometer-Kreuzes sehen. Es fällt dann, wie wir wissen, die Axe des Fernrohrs mit der Gesichtslinie zusammen, es ist die letztere eine Verlängerung der ersteren. Unmittelbar über der Mitte des Kreuzes sei eine Lichtflamme angebracht. Dieselbe wird sich auf der Hornhaut spiegeln. Wir beginnen die Platten des Ophthalmometers zu drehen und drehen dieselben so lange, bis wir dadurch die Hornhaut um ihre halbe Breite verschoben haben, so dass (Fig. 17) $a a_1 = a_1 b = b b_1$. Durch a_1, den Mittelpunkt der Pupille wird jetzt das Doppelbild 1 des Hornhautrandes gehen, während der Rand II durch den Mittelpunkt b der Pupille des Doppelbildes streichen wird, oder: der Mittelpunkt der Pupille, a_1, ist um die halbe Hornhaut verschoben, demnach auf den Rand II der Hornhaut nach b gewandert, während a nach a_1 ging. Wird das Bild der über dem Instrumente befindlichen Flamme, während die Gesichtslinie des untersuchten Auges in die Fernrohraxe fällt, auf dem Mittelpunkte der Cornea, in a_1, entworfen, so wird sein Doppelbild dort liegen, wo das von a_1 liegt, also in b. Es wird nun das eine Flammenbild am Rande 1, das zweite am Rande II der Cornea stehen. Es wird demnach in diesem Falle möglich sein, die beiden Bilder gleichzeitig auf den entsprechenden Rand der Hornhaut zu stellen.

Fig. 17.

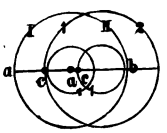


Wenn aber bei dem in Rede stehenden Versuche das Bild der Flamme sich nicht in der Mitte der Cornea spiegelt, dann gestaltet sich die Sache anders. Es wäre (Fig. 18) ab der horizontale Durchmesser der Hornhaut, a_1 dessen Mitte, das Bild würde aber nicht

Digitized by Google

in a_1, sondern in einem Punkte zwischen a und a_1, etwa in c entworfen. Wenn wir es jetzt wieder versuchen, die beiden Lichtbilder gleichzeitig auf die Hornhauträndern zu stellen, so kann dies nicht gelingen.

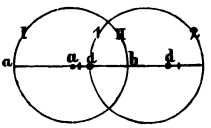
Fig. 18.



Bei einer bestimmten Drehung der Platten wird a nach c gewandert sein und mithin der Rand 1 des Doppelbildes durch c gehen. Wird aber jetzt der Rand II mit dem zweiten Lichtbilde zusammenfallen können? Unmöglich, denn dieses ist nur um eine Grösse, $cc_1 = ac$ gegen b hin verschoben. Nun ist aber $ac < aa_1$, also auch $< a_1 b$ und folglich um so $< ca_1 + a_1 b = cb$. Es müsste aber $cc_1 = cb$ sein, damit das Doppelbild c_1 mit b, mit dem Rande II zusammenfiele.

Ebensowenig können die Lichtbilder gleichzeitig auf die Hornhauträndern gestellt werden, wenn c nicht zwischen a und a_1, sondern (Fig. 19) zwischen a_1 und b, z. B. in d gelegen ist. Ist durch Plattendrehung a nach d gewandert, so steht das Doppelbild von d in d_1, um die Grösse ad, die natürlich grösser als db ist, nach d_1 hin verschoben, kann demnach nicht nach b fallen.

Fig. 19.



Aus dem Gesagten geht klar hervor, dass nur für den Fall, dass das Bild der Lichtflamme sich in der Mitte eines horizontalen Hornhautmeridians spiegelt, es möglich ist, dasselbe und sein Doppelbild auf die in Rede stehenden Ränder der Hornhaut gleichzeitig zu stellen und dass, falls dieses Experiment in einem speciellen Falle nicht gelingt, hiedurch der Beweis erbracht ist, dass das Flammenbild nicht mit der Mitte des betreffenden Horizontalmeridians zusammenfällt.

Wenn man nun, während die Gesichtslinie und die Axe des Ophthalmometers eine gerade Linie bilden, versucht, die in Rede stehenden Flammenbilder auf die Ränder der Hornhaut gleichzeitig fallen zu machen, so gelingt dieser Versuch in der Regel nicht. Es geht also die Gesichtslinie nicht durch die Mitte eines Horizontalmeridians der Hornhaut.

Stellt man vor dem untersuchten Auge einen Gradbogen auf, welcher mit einem beliebigen Halbmesser aus dem Drehpunkte des Auges beschrieben ist und bringt man auf dem Gradbogen ein Visirzeichen, z. B. ein Kreuz verschiebbar an, so kann man dieses Zeichen zunächst so stellen, dass die Fernrohraxe durch die Mitte des Kreuzes geht. An dieser Stelle findet sich der Nullpunkt der auf dem Bogen verzeichneten Scala, und von da an sind die Grade nach rechts und links hin aufgetragen. Wird das Auge zunächst auf das Visirzeichen in

Digitized by Google

seiner Primärstellung gerichtet, so kann hierbei, da nun die Gesichtslinie in die Ophthalmometeraxe fällt, das oft erwähnte Experiment mit den Bildern der Lichtflamme nicht gelingen. Es stellt sich dabei vielmehr, falls z. B. das rechte Auge untersucht wurde, bei der Verdopplung der Hornhaut ein Verhältniss heraus, wie es Fig. 19 zeigt. Verschiebt man nun das Visirzeichen von rechts nach links, also gegen die Nase des Untersuchten zu, so wird es bei einer bestimmten Abweichung des Zeichens gelingen, das Experiment auszuführen. In diesem Momente ist die Mitte des Horizontalmeridians, der die Gesichtslinie enthält, in die Axe des Ophthalmometers gerückt, während die Gesichtslinie um eine bestimmte Anzahl von Graden gegen die Nase zu, also nach innen hin abweicht.

Es bleibt noch zu erforschen übrig, ob die Gesichtslinie mit der Hornhautmitte in gleicher Höhe steht. Während das Auge noch so gerichtet ist, dass die Mitte des betreffenden Hornhautmeridians spiegelt, das Visirzeichen also um eine bestimmte Anzahl Grade vom Nullpunkte der Scala abweicht, wird der cubische Kasten, der die Ophthalmometerplatten enthält, um 90 Grade gedreht. Während die Platten bei der ersten Stellung des Instrumentes die Gegenstände in horizontaler Richtung verdoppelten, werden sie es jetzt in verticaler Richtung vollführen. Nunmehr versucht man wiederum die Lichtbilder auf die entsprechenden Hornhauträndern zu stellen. Nur dann wird dies gelingen, wenn (Fig. 20) der Endpunkt der Gesichtslinie *a* mit der Hornhautmitte *m* genau in gleicher Höhe steht. Wenn aber z. B. (Fig. 21) die Hornhautmitte *m* etwas tiefer liegt, so wird, wenn das mit *a* in gleicher Höhe entworfene Hornhautbildchen *b* mit dem Rande 1 der Hornhaut zusammenfällt, sein Doppelbild b_1 über dem Rande II stehen, und anderseits unter demselben, wenn (Fig. 22) die Hornhautmitte höher als *a* gelagert ist.

Fig. 20.

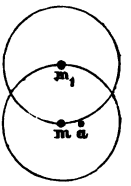
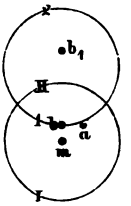
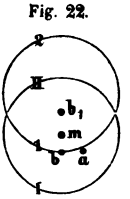


Fig. 21.



Es ergeben derartige Versuche, dass gewöhnlich eine Abweichung stattfindet. Es muss sich nämlich die Gesichtslinie längs eines Visirzeichens II nach auf- und abwärts bewegen, um die nöthige Einstellung der Lichtbilder zu ermöglichen. Steht die Gesichtslinie höher als die Hornhautmitte, dann wird das Auge gehoben, dagegen wird es, falls die Gesichtslinie tiefer liegt, gesenkt werden müssen, damit die Hornhautmitte spiegle. Man kann sich übrigens nicht verhehlen, dass die Bestimmung der Hornhautmitte im verticalen Meridiane schwieriger ist, als die analoge Bestimmung in der Horizon-

Fig. 22.



Digitized by Google

talen, weil der obere und untere Rand der Cornea wegen des Limbus conjunctivae weniger scharf markirt ist, als es die seitlichen Ränder sind und mithin die genaue Einstellung der Lichtbilder im verticalen Meridiane grösseren Schwierigkeiten unterliegt, als im horizontalen.

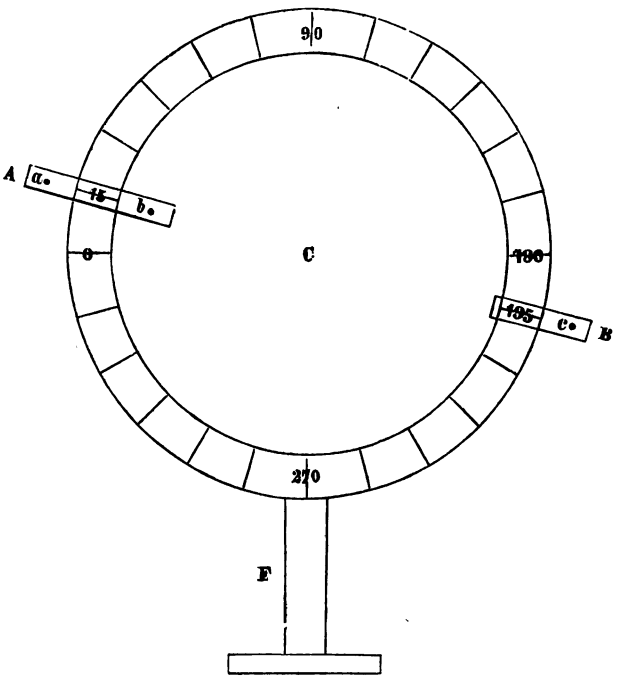
Um ein System von Messungen der Cornealmeridiane bequem ausführen zu können, muss man auf eine andere Anordnung des Apparates sinnen, als ihn Fig. 16 zeigt. Hiebei maassen wir die Krümmung der Cornea in einem horizontalen Meridiane. Wollen wir aber das Gleiche in andern Durchschnitten der Hornhaut vollführen, so muss der Untersuchte, während er das Visirzeichen II ununterbrochen fixirt, den Kopf zur Seite neigen; und es müsste einerseits die Grösse der Kopfneigung vollkommen genau bestimmt, andererseits dafür gesorgt sein, dass sie sich nicht ändere (Knapp hat einen derartigen Kopfhalter construiren lassen), damit durch diese Kopfverdrehungen des Beobachteten, auch wenn sie derselbe mit vieler Aufopferung vollführt, etwas Erspriessliches zu Tage gefördert würde. Es ist zu dem Zwecke, dass die leuchtenden Punkte in verschiedenen Meridianen sich spiegeln, offenbar einfacher, wenn man den Kopf des Untersuchten in unveränderter Stellung belässt und dafür sorgt, dass die leuchtenden Objecte und ebenso die Platten des Ophthalmometers, durch welche die Bildpunkte verdoppelt werden, in entsprechender Weise ihren Ort ändern.

Donders versuchte diese letzteren Anforderungen in folgender Weise zu erfüllen. Zwischen Ophthalmometer und dem zu untersuchenden Auge ist (Fig. 23) ein mit einem Fussgestelle *F* versehener Ring vertical in der Weise aufgestellt, dass die Ophthalmometeraxe auf der Fläche des Ringes senkrecht steht und durch den Mittelpunkt *C* desselben hindurchgeht. Der Ring hat einen Durchmesser von etwa 15″; sein Centrum ist ungefähr 3′ vom Auge entfernt. Auf dem Ringe befindet sich eine Gradeintheilung. Von 15 zu 15 Graden ist dieselbe aufgetragen. Auf demselben sind ferner zwei Kupferplatten *A*, *B* in der Art verschiebbar angebracht, dass ihre Mittellinien immer in der Verlängerung eines Ringhalbmessers liegen, resp. mit den entsprechenden Gradtheilstrichen, wie in der Figur angedeutet, zusammenfallen. Die beiden kupfernen Schieber tragen Lämpchen und zwar *A* zwei derselben, *B* nur eines. Jedes Lämpchen ist durch ein Diaphragma, in welchem sich eine Oeffnung befindet, gedeckt. *a*, *b* und *c* sind die Oeffnungen in den Lampenmänteln, die sich in Form kleiner leuchtender Kreise darstellen. Die drei Punkte *a*, *b* und *c* liegen in Einer Geraden und es ist dafür gesorgt, dass sie bei jeder Stellung der Platten *A* und *B*, nur vorausgesetzt, dass diese letzteren sich in gerade diametral ent-

Digitized by Google

gegengesetzter Richtung (i. e. um 180° von einander entfernt) befinden, in Einer geraden Linie bleiben. Das Princip der Messung ist das früher

Fig. 23.



angegebene. Es ist auch dafür Sorge getragen, dass der genau bestimmte Abstand des Leuchtpunktes *c* von der Mitte der beiden Leuchtpunkte *a* und *b* stets der gleiche sei. Diese Grösse ist das Object, dessen Bild auf der Cornea gemessen werden soll. Der Ring ist so aufgestellt, dass die Theilstriche 90 und 270 in die Verticale fallen und demnach der die Theilstriche 0 und 180 verbindende Meridian horizontal gelegen ist.

Die Messung beginnt damit, dass man zunächst in der früher angegebenen Weise die Mitte der Hornhaut einstellt. Geht, während das Auge das Visirzeichen II fixirt, die Ophthalmometeraxe durch die Hornhautmitte, so verharrt das Auge während der Messungen in der Fixirung des genannten Gesichtszeichens. Es wird zunächst bei vollkommen aufrechter Haltung des Kopfes, während *A* und *B* in den Theilstrichen 0 und 180 stehen, die Krümmung der Hornhaut im horizontalen Meridiane und hierauf, nachdem *A* und *B* um 90° gedreht, also auf 90 und 270 gestellt worden und die Platten des Ophthalmometers

Digitized by Google

die gleiche Drehung erfahren haben, der Radius des verticalen Meridians gemessen. Hierauf folgt die Bestimmung der zwischenliegenden Meridiane von 15 zu 15 Graden in der Weise, dass man *A* und *B* sowie die Platten des Instrumentes um die entsprechende Anzahl von Graden verschiebt. Die Zeichnung zeigt die Stellung der metallenen Schieber, wenn die Krümmung des um 15° nach oben vom Nullpunkte gelegenen Meridians bestimmt werden soll. *A* ist auf 15, *B* begreiflicherweise auf 195 gerückt. Ebenso werden hiebei die Glasplatten um einen Winkel von 15° in der Richtung von links nach rechts aus ihrer Anfangsstellung herausgedreht sein.

Dies die theoretische Grundlage der Donders'schen Messungsmethode. In praxi hat man bei der Aufstellung des Apparates oft seine liebe Noth, besonders ist es die Herstellung der Flämmchen, welche Kummer bereitet. Bald brennen die Flammen nicht hell genug, bald brennen sie nicht gleichmässig. Vor Allem fatal werden die Messungen in den Meridianen, die sich den verticalen nähern, und besonders im verticalen selbst. Da stehen die Lampen *a* und *b* gerade über einander, die obere wird von der Flamme der untern erhitzt, die noch dazu nach oben strebt. Selbst das Einschieben eines horizontalen Schirmes zwischen *a* und *b* hebt die Schwierigkeiten hiebei nicht auf. Die Flammenbilder erscheinen bei der verticalen Lampenstellung oft nicht mit der genügenden Schärfe auf der Hornhaut. Der Versuch, statt des Oels, mit welchem Donders die Lämpchen füllte, stärker leuchtende, explodirende Brennmaterialien, z. B. Petroleum zu verwenden, ist wegen der gefährlichen Nähe der beiden Lämpchen *a* und *b*, besonders in deren verticaler Lage, kein gleichgiltiger zu nennen.

Aus dem Gesagten geht klar hervor, dass es wünschenswerth erscheinen muss, sich von der Laune der Lämpchen gänzlich zu befreien. Schon Mandelstamm hat bei einer Untersuchungsmethode, von der wir bald sprechen werden, statt der Lämpchen kleine Spiegel verwendet, und Woinow liess einen derartigen Spiegelapparat für die Messung der Hornhautkrümmung in den verschiedenen Meridianen construiren, bei welchem das Licht einer neben dem Auge des Untersuchten stehenden Lampenflamme von drei ebenen Glasspiegelchen reflectirt wird, die an einer um eine horizontale Axe drehbaren Stange in analoger Weise, wie bei den Donders'schen Messungen die Lämpchen, angebracht sind. Die von den Spiegeln erzeugten virtuellen Bilder der Lampenflamme (die aber wegen der seitlichen Stellung der Lampe nicht blos neben, sondern auch hinter einander stehen, wodurch eine gewisse Ungenauigkeit in die Resultate der Messungen gelangt), dienen

Digitized by Google

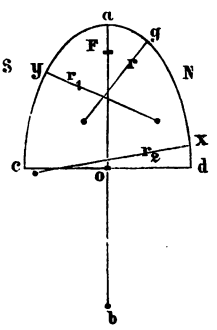
als leuchtende Objecte. Durch Drehung der die Spiegel tragenden Stange um eine bestimmte Anzahl von Graden werden die Bilder in jedem beliebigen Hornhautmeridiane erzeugt, und wird so die Krümmung der einzelnen Meridiane bestimmt.

III. Bestimmung.

Das Experiment mit dem Einstellen der Lichtbilder auf die entgegengesetzten Hornhauträndern ist wohl das einfachste, durch welches wir uns überzeugen können, dass die Gesichtslinie nicht durch die Mitte der Hornhaut geht. Der Winkel, um den die Gesichtslinie von der Hornhautaxe, die als durch die Hornhautmitte gehend betrachtet werden kann, in horizontaler und verticaler Richtung abweicht, zieht in mancher Beziehung unsere Aufmerksamkeit auf sich. Es fragt sich, ob wir denselben zu messen im Stande sind. Es wurden verschiedene Methoden zu dessen Bestimmung angegeben. Helmholtz und nach ihm Knapp forschten nach ihm durch Rechnung. Donders suchte ihn direct zu messen und Mandelstamm nach einem einfachen, von Helmholtz angegebenen Verfahren ausfindig zu machen.

Helmholtz maass (Fig. 24) den Krümmungshalbmesser r im Scheitelpunkte g der Gesichtslinie, und hierauf wurden noch die Radii r_1 und r_2 an zwei Stellen x und y, von denen die eine von g nach rechts, die andere ebenso weit nach links gelegen war, bestimmt. Es zeigte sich bei diesen Messungen zunächst, dass die 3 Radien eine verschiedene Grösse hatten. Wäre der Horizontaldurchschnitt der Cornea, in welcher die Messungen vorgenommen wurden, ein Kreis, so müssten die drei Halbmesser in ihrer Grösse übereinstimmen. Da dies nicht der Fall ist, so muss der Durchschnitt der Hornhaut einer andern krummen Linie entsprechen. Man kann ihn als Ellipse auffassen, deren grosse Axe von vorne nach rückwärts läuft. Im Scheitel der Ellipse, a, wird die Krümmung die stärkste, der Radius also der kleinste sein, während die Grösse des Radius, der jedem einzelnen Punkte der Ellipse entspricht, um so mehr zunehmen wird, je mehr sich der letztere der kleinen Axe nähert.

Fig. 24.



Ferner: läge der Endpunkt der Gesichtslinie, g, im Scheitelpunkte der Ellipse, a, so müssten die Radii an den zwei von g gleichweit entfernten Punkten x und y die gleiche Grösse besitzen. Da aber dies den Messungsresultaten nicht entspricht, so folgt, dass g mit a nicht

Digitized by Google

identisch ist, dass also der Radius im Scheitelpunkte der Gesichtslinie und die mit diesem nahezu übereinstimmende Gesichtslinie selbst mit der Hornhautaxe nicht zusammenfällt, sondern mit derselben einen bestimmten Winkel, α, bildet, sowie der Umstand, dass der nach der Nasenseite N von der Gesichtslinie bestimmte Halbmesser fast durchgehends grösser befunden wird, als der in gleicher Entfernung nach der Schläfe S hin gelegene, laut dafür Zeugniss gibt, dass die Gesichtslinie nach innen, gegen die Nase zu, von der Hornhautaxe abweicht.

Aus den Werthen der 3 Radii, r, r_1, r_2, sowie aus dem Werthe des Winkels φ, um welchen das Auge bei Bestimmung der Radii r_1 und r_2 das eine Mal nach rechts, das andere Mal nach links aus der Anfangsstellung gedreht wurde, berechnete Helmholtz den Winkel α nach einer Formel, welche lautet:

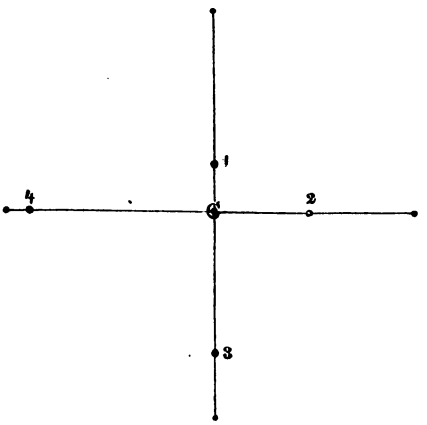
$$tg\ 2\alpha = \frac{tg\ \varphi\ [(r\,r_2)^{1/2} - (r\,r_1)^{1/2}]}{(r\,r_1)^{1/2} + (r\,r_2)^{1/2} - 2\,(r_1\,r_2)^{1/2}}$$

Donders benützte das Experiment mit dem Einstellen der Lichtbilder auf die entgegengesetzten Hornhauträndern nicht blos um die Mitte des betreffenden Hornhautmeridians einzustellen, sondern auch um den Winkel α zu messen. Der vor dem Auge befindliche Gradbogen ist aus dem Knotenpunkte des Auges mit beliebigem Halbmesser beschrieben. Die Stellung I des Visirzeichens, bei welchem das in Rede stehende Experiment gelingt, gibt direct den Winkel zwischen Gesichtslinie und Hornhautaxe an. Muss z. B. das Gesichtszeichen hierzu um 5^0 gegen die Nase verschoben werden, so wird angenommen, dass der Winkel α 5^0 betrage. Um dann noch die Abweichung der Gesichtslinie von der Hornhautaxe in verticaler Richtung numerisch auszudrücken, ist das am Orte I aufgestellte verticale Visir mit dem gleichen Halbmesser, wie der horizontale Gradbogen, gekrümmt. Ein kleines Kügelchen kann auf diesem Zeichen auf- und abwärts geschoben werden. Das Kügelchen wird vom Auge fixirt. Bei jener Stellung der Gesichtslinie, bei welcher die Mitte der Hornhaut spiegelt, wird am Stande des Kügelchens abgelesen, um wie viel Grade nach oben oder unten von der Horizontalen die Gesichtslinie sich bewegte. Da das Verschieben der kleinen Kugel während der Messung unbequem ist und es sich nur um ganz geringe Ablenkungen handelt, so kann dem Visir auch die Form eines Kreuzes, (Fig. 25), dessen Schenkel entsprechend gekrümmt sind, und welches um die Axe C gedreht werden kann, gegeben werden. Die Kugel 1 weicht um 1^0, Kugel 2 um 2^0, 3 um 3^0, 4 um 4^0 vom Centrum des Zeichens ab. Durch einfache Drehung des Kreuzes ist es dann möglich, Fixationspunkte, die um $1-4^0$ vom Horizonte abweichen, dem

Digitized by Google

untersuchten Auge anzuweisen. An der Stellung jener Kugel, bei deren Fixation der Zweck am annäherndsten erreicht wird, kann dann noch eine kleine Correction vorgenommen werden. Nach der angegebenen Methode haben Donders und seine Schüler eine grössere Reihe von Messungen des Winkels α ausgeführt. Die Methode wurde schon früher von Helmholtz und Knapp verwerthet, um zu zeigen, dass der Scheitel der Hornhautellipse durch die Mitte der Hornhaut geht. Es stellte sich nämlich heraus, dass der gemessene Winkel α mit Berücksichtigung der Fehlergrenzen dem durch Berechnung gewonnenen Winkel zwischen Gesichtslinie und Hornhautaxe entspricht, daher die Hornhautaxe bei diesem Versuche in die Ophthalmometeraxe fällt, demnach durch die Mitte der Hornhaut, die ja hiebei eingestellt ist, geht. Diese übereinstimmenden Angaben von Helmholtz und Knapp haben für mich wenigstens eine grössere Beweiskraft, als die neuesten Messungen von Woinow [1]), nach welchen die Hornhautaxe nicht durch die Mitte der Hornhaut gehen, dabei der Winkel zwischen Gesichtslinie und Hornhautaxe in den beiden Augen desselben Individuums grosse Verschiedenheiten aufweisen, der zwischen Hornhautmitte und Gesichtslinie dagegen in beiden Augen fast identisch sein soll.

Fig. 25.



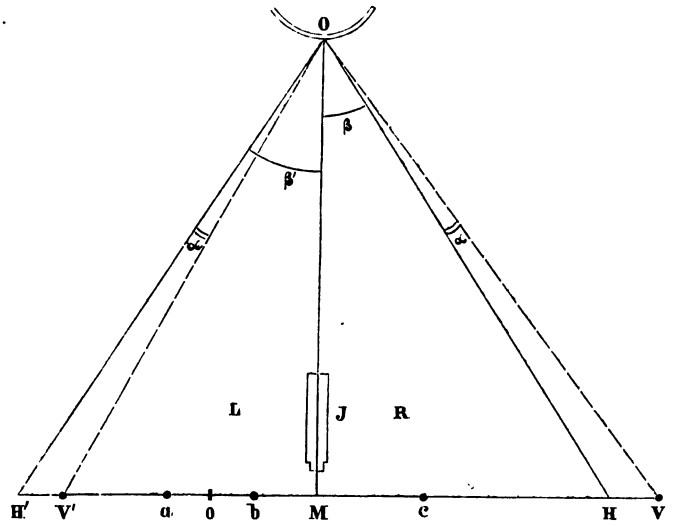
Mandelstamm macht der Donders'schen Methode den Vorwurf, „dass es hiebei kaum gelingen dürfte, die Ränder der verdoppelten Cornea mit den Flammenbildchen genau zum Decken zu bringen, weil diese Ränder nicht scharf genug von der Sclera abgegrenzt sind". (Es ist dies ein Vorwurf, dem wir nicht beistimmen können, wenigstens nicht für die Messungen im horizontalen Meridiane). Er hat desshalb nach einer neuen Bestimmungsmethode, welche ihm Helmholtz angab, den in Rede stehenden Winkel zu erforschen gesucht. Es sei (Fig. 26) in *I*

[1]) Weitere Beiträge zur Kenntniss des Winkels α, in Gräfe's Archiv. XVI. 1. 1870. pag. 225.

Digitized by Google

das Ophthalmometer. Zur linken Seite desselben befinden sich zwei Gasflammen *a* und *b*, zur rechten Eine solche, *c*. Der Mittelpunkt *o* der Linie *a b* steht von der Ophthalmometeraxe *O M* ebenso weit als *c* ab. In einer

Fig. 26.



Entfernung von 15—18″ von der Axe des Instrumentes wird auf der rechten Seite des letztern, auf jener, auf welcher sich die Flamme *c* befindet, ein Visirzeichen *V* aufgestellt, nach welchem das zu untersuchende Auge blickt, also die Gesichtslinie *O V* gerichtet ist. Auf der Cornea erscheinen die leuchtenden Bildchen der Punkte *a*, *b* und *c*. Das Bild des Objectes *c o* wird hierauf durch Drehung der Ophthalmometerplatten gerade verdoppelt, so dass also das *c*-Bild genau in die Mitte der Bilder von *a* und *b* gestellt wird. Ist dies geschehen, dann lässt man die Platten in der Stellung, in welcher sie sich eben befinden, bringt das Visirzeichen *V* von der rechten auf die linke Seite des Instrumentes und verschiebt *V* so lange (nach *V'*), bis auf der Cornea des nach dem Zeichen blickenden Auges (wobei die Gesichtslinie durch *O V'* gegeben ist) wiederum das eine Flammenbild genau in der Mitte der beiden anderen erscheint. Da einer bestimmten Plattendrehung nur eine einzige bestimmte Objectgrösse entspricht, so wird jetzt das Hornhautbild in dieser zweiten Stellung des Auges dieselbe Grösse haben, wie in der ersten. Da aber die Grösse des Bildes von der Krümmung der Hornhaut abhängt, so folgt, dass die Hornhaut an der Stelle, an welcher die Bilder bei Stellung II entworfen werden,

Digitized by Google

dieselbe Krümmung habe, als an jenem Orte, an welchem zuerst die Bilder dargestellt werden. Da endlich die Krümmungen eines Hornhautmeridians an jenen zwei Stellen, welche gleichweit von der Axe entfernt sind, die gleichen sind, so ist weiters der Schluss zu ziehen, dass die Hornhautaxe, OH', in der Stellung II denselben Winkel, natürlich nach entgegengesetzter Richtung mit der Ophthalmometeraxe bildet, als in der Stellung I, wo sie mit OH bezeichnet ist, dass demnach der Winkel MOH oder β dem Winkel MOH' oder β' gleich sei. Ist $\alpha = \alpha$ der von Gesichtslinie und Hornhautaxe eingeschlossene Winkel, so ist, da

$$\beta = \beta'$$

und

$$\alpha = \alpha$$

$$\alpha + \beta = \alpha + \beta'.$$

Nun ist aber

$$\beta' = \alpha + \sphericalangle V'OM.$$

Substituiren wir diesen Werth von β', so erhalten wir

$$\alpha + \beta = \sphericalangle VOM = 2\alpha + \sphericalangle V'OM$$

folglich

$$\alpha = \frac{\sphericalangle VOM - \sphericalangle V'OM}{2}$$

Der Winkel zwischen Gesichtslinie und Hornhautaxe ist demnach gleich der halben Differenz jener Winkel, welche die Gesichtslinie mit der Axe des Ophthalmometers in der ursprünglichen und in der Secundärstellung des Auges einschliesst.

Denken wir uns all' die Linien, MO, HO, $H'O$, VO, $V'O$ in Einen Punkt, O, zusammenlaufen, wie es die ganze Deduction erfordert und liegt dieser Punkt, wie in unserer und Mandelstamm's Zeichnung, z. B. im Scheitel der Hornhaut, so können wir $\sphericalangle MOV$ und $\sphericalangle MOV'$ leicht berechnen, denn es ist $tg.\ MOV = \frac{MV}{OM}$ und $tg.MOV' = \frac{MV'}{OM}$.

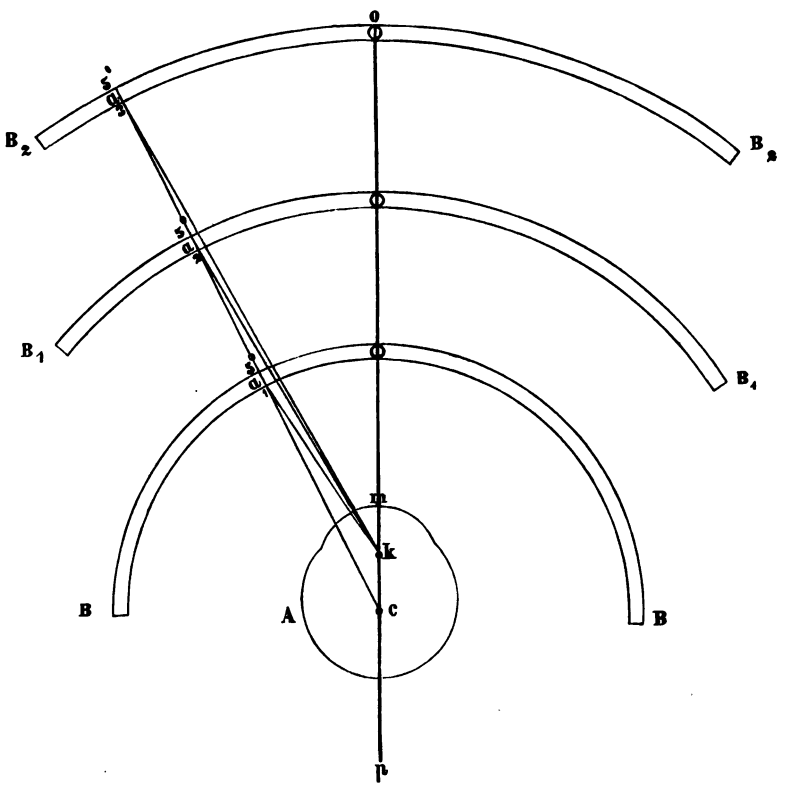
Da uns MV und MV', die jeweiligen Abstände des Visirzeichens von der Ophthalmometeraxe bekannt sind und ebenso die Grösse OM durch directe Messung gegeben ist, so liegen uns alle Stücke vor, um die in Rede stehenden Winkel, und somit den Winkel α zu berechnen.

In ganz analoger Weise bestimmte Mandelstamm die Abweichung der Gesichtslinie von der Hornhautaxe im verticalen Meridiane, nur dass statt dreier übereinanderstehender Flammen drei an einem Stativ angebrachte, über einanderstehende Planspiegelchen, welche von einer seitlich aufgestellten Gasflamme Bilder entwarfen, verwendet wurden. Die Spiegel wurden am Rande mit schwarzem Papiere belegt, in der Art, dass nur eine querliegende, spiegelnde Spalte, welche die Stelle der Lichtquelle vertrat, übrig blieb.

Digitized by Google

Nach den angegebenen Methoden könnte wohl der Winkel α annähernd bestimmt werden, wenn nur mehrere von den als bekannt angenommenen Bestimmungsstücken wirklich gegeben und mehrere Suppositionen richtiger wären. Allein die Sache liegt vom mathematischen Standpunkte nicht so einfach und es ist an der Zeit, die hier in Betracht kommenden Verhältnisse endlich einmal genauer zu beleuchten.

Fig. 27.



Betrachten wir zunächst die directe Messungsmethode von Donders. Es wird hiebei gesagt, dass der vor dem Auge befindliche Gradbogen *BB* (Fig. 27) aus dem Knotenpunkte des Auges beschrieben sei [1]). Einen Bogen aus dem Knotenpuunkte des Auges zu beschreiben, geht aber bei der in Rede stehenden Messung nicht an, weil das Centrum

[1]) Middelburg, de zitplaats van het astigmatisme. 1863, pag. 20, und Donders, On the anomalies etc. 1864, pag. 462.

Digitized by Google

eines solchen Kreises, in welchem die Winkelspitze gelegen sein soll, begreiflicherweise unbeweglich sein muss, der Knotenpunkt aber, da er nicht mit dem Drehpunkte zusammenfällt, bei den Bewegungen des Auges sich selbst bewegt, also z. B. während die Hornhautaxe Ms (Fig. 28) von M nach M' gerichtet wird, von k nach k' wandert. Ein derartiger Gradbogen kann natürlicher Weise nur aus einem fixen Punkte des Auges, aus dem Drehpunkte beschrieben sein. Nehmen wir nun aber schon an, dass wir diesen Fehler rectificiren und den Bogen BB (Fig. 27) aus dem Drehpunkte des Auges, c, beschreiben und es müsste das Auge A, dessen Gesichtslinie durch $a_1 k$ ausgedrückt wird, auf das Visirzeichen a_1 sich richten, damit die Mitte der Hornhaut m spiegle, also mit der Ophthalmometeraxe op zusammenfalle, dann gibt der auf dem Gradbogen abgelesene Winkel, z. B. von 5° nicht den Winkel $a_1 ko$, nicht den Winkel zwischen Gesichtslinie und Hornhautaxe, sondern den Winkel $a_1 co$, den Winkel zwischen Hornhautaxe und der Linie $a_1 c$ an. Diese Linie, welche den Fixationspunkt mit dem Bewegungscentrum des Auges verbindet, bezeichnet Helmholtz als Blicklinie. Der abgelesene Winkel α ist also der zwischen Hornhautaxe und Blicklinie.

Wir könnten die Donders'sche Methode zu einer verhältnissmässig exacten machen, falls uns die Lage des Drehpunktes bekannt wäre. Wir könnten dann den Winkel α berechnen. Es sind uns nämlich in diesem Falle im Δ $a_1 ck$ folgende Stücke bekannt: der Winkel bei c, $a_1 ck$ durch Messung, sowie die beiden ihn einschliessenden Seiten: $a_1 c$ als Radius, mit dem der Bogen BB beschrieben ist und ck als Abstand des Knotenpunktes vom Drehpunkte. Setzen wir k 7 $M^{m.}$ und c, den Drehpunkt, nach Donders (in einem emmetropischen Auge) 13·5 $M^{m.}$ hinter die Vorderfläche der Hornhaut, dann ist $ck = 6{\cdot}5$ $M^{m.}$ Sind uns in einem Dreiecke zwei Seiten und der eingeschlossene Winkel gegeben, dann können wir die übrigen Stücke des Dreiecks berechnen. Wir bestimmen so den Winkel $a_1 kc$ und daraus den Winkel α als dessen Nebenwinkel. Es wäre z. B. $a_1 c = 8''$, $\sphericalangle a_1 ck$, den wir am Gradbogen ablesen $= 5^0$, ck setzen wir $= 6{\cdot}5$ $M^{m.}$, dann ergibt die Rechnung $\sphericalangle a_1 kc = 174^0\ 54'\ 20''$ und demnach $\alpha = 5^0\ 5'\ 40''$.

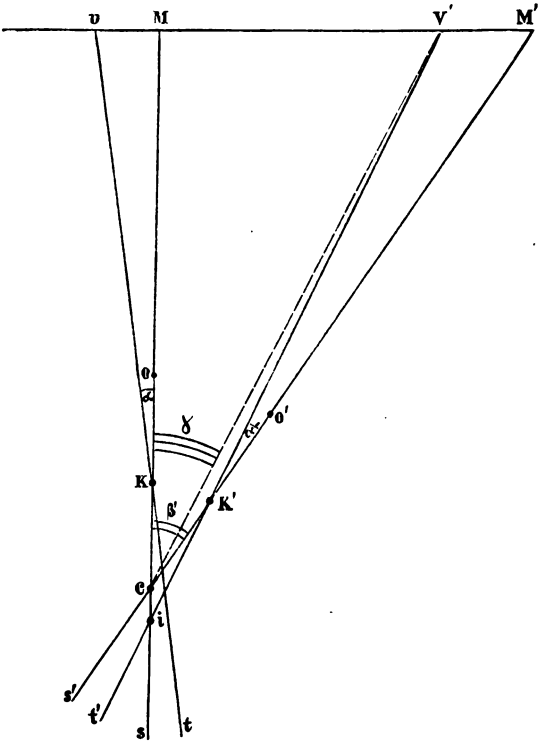
Ein Blick auf Fig. 27 zeigt ferner, dass es für den Werth des Winkels α nicht gleichgiltig sei, mit welchem Radius der Bogen vor dem Auge beschrieben erscheint. Der Winkel bei c bleibt sich allerdings gleich, ob der Radius durch ca_1, oder ca_2 oder ca_3 gegeben ist, nicht so aber der Winkel α. α wird unter übrigens gleichen Verhältnissen um so kleiner, je grösser der Radius wird, denn es ist ja $a_1 ko >$

Digitized by Google

$a_2\ ko > a_3\ ko$. Man wende uns nicht ein, dass die Rückführung der Messung auf richtige Principien keine wesentlichen Differenzen zur Anschauung bringe, ein mathematisches Princip fordert als solches sein Recht, ganz ohne Rücksicht auf practische Resultate.

Aus diesem Grunde müssen auch die factischen Verhältnisse ersichtlich gemacht werden, wie sie bei der Mandelstamm'schen Rechnung statt haben. Ist (Fig. 28) sM die Axe, vt die Gesichtslinie des zu untersuchenden Auges, vkM der Winkel α; ist o der Scheitel der Hornhaut, k der Knotenpunkt, c der Drehpunkt des Auges und bewegt sich nun dasselbe im Horizonte zur Fixation des Gesichtszeichens V', dann hat c seinen Ort auf der Augenaxe $s'M'$ nicht verlassen, o ist nach o', k nach k' gewandert. Stellt sM gleichzeitig die Axe des Ophthalmometers vor, dann wird diese von der Hornhautaxe in c, von der Gesichtslinie in ihrer neuen Stellung in i geschnitten, während der Durchschnittspunkt von Hornhautaxe und Gesichtslinie in k' liegt. Es ist vollkommen unbegründet, die Punkte c, i und o' in Einen Punkt, O, wie in Fig. 26 zusammenfallen zu lassen. Aber richtig ist es trotzdem, dass der Winkel zwischen Hornhaut- und Ophthalmometeraxe in diesem Falle gleich sei dem Winkel zwischen Gesichtslinie und Ophthalmometeraxe mehr dem Winkel α. Denn es ist $\sphericalangle Mck' = \beta'$ als Aussenwinkel des Dreieckes cik' gleich der Summe der beiden inneren gegenüberstehenden Winkel, also gleich $cik' + ck'i$. $ck'i$ und α sind aber Scheitelwinkel, also einander gleich, mithin ist

Fig. 28.



$$\beta' = \alpha + cik'.$$

Digitized by Google

Die Mandelstamm'sche Berechnung kann also trotz jener unrichtigen Annahme aufrecht erhalten werden. Nur ist es zur Bestimmung von α eine conditio sine qua non, dass der Winkel $cik' = MiV'$, der Winkel zwischen Gesichtslinie und Ophthalmometeraxe wirklich gegeben sei, wie Mandelstamm annimmt.

Es wird die Tangente dieses Winkels (Fig. 26) gleich gesetzt $\frac{MV'}{MO}$. Was ist aber MO? Etwa der Abstand des Punktes M vom Auge? Nein! MO ist die Linie Mi (Fig. 28); die Lage des Punktes i können wir aber überhaupt nicht bestimmen, wenn wir nicht, abgesehen davon, dass wir die Lage des Knoten- und Drehpunktes als bekannt voraussetzen, den Winkel α schon kennen, denn nur dann wüssten wir unter den gemachten Voraussetzungen, wo die Gesichtslinie die Ophthalmometeraxe schneidet. Würden wir $Mi = Mc$, dem Abstande des Punktes M vom Drehpunkte des Auges setzen, dann würden wir $tg.x$ durch $\frac{MV'}{Mc}$ ausdrücken, dadurch aber nicht den Winkel MiV', sondern den Winkel zwischen der Blicklinie, cV', und der Ophthalmometeraxe, wir würden den Winkel γ messen. So spricht die theoretische Betrachtung. In practischer Beziehung ist zu bemerken, dass die Grösse ci allerdings verschwindend klein gegen den Abstand des Punktes M vom Auge ist, aber immerhin dürfen wir bei unserer Berechnung nicht den Abstand des Punktes M vom Auge als massgebend annehmen, sondern müssen wenigstens die Distanz zwischen M und dem Drehpunkte des Auges in die Rechnung einführen.

Ganz das Gleiche, was über die Mandelstamm'sche Rechnung vorgebracht wurde, gilt für die Bestimmung des Winkels α nach der Helmholtz'schen Berechnungsmethode. Hiebei wird gleichfalls der Winkel, welchen der bei einer Seitenstellung des Auges mit der Ophthalmometeraxe zusammenfallende Radius einer bestimmten Hornhautstelle mit der Hornhautaxe macht, gleichgesetzt dem Winkel $\alpha + \varphi$ (resp. $\alpha - \varphi$), wobei φ den Winkel zwischen Gesichtslinie und Ophthalmometeraxe ($\sphericalangle MiV'$ in Fig. 28) bedeutet. Diese Gleichung ist, da es sich um ganz dieselben Verhältnisse, wie sie eben dargestellt wurden, handelt, aus demselben Grunde richtig, aus welchem $\beta = \alpha + MiV'$, aber nicht etwa desshalb, weil α und φ einfach Theile des in Rede stehenden Winkels wären. Wenn Knapp sagt [1]: „Der Winkel

[1]) Die Krümmung der Hornhaut. 1860. pag. 17.

Digitized by Google

φ ist bekannt. Er ist die Abweichung der Verbindungslinie des Auges mit dem Gesichtszeichen von der Beobachtungslinie des Ophthalmometers," so ist dies ein ganz unbestimmter Ausdruck. Es handelt sich da nicht um die Verbindungslinie des Auges mit dem Gesichtszeichen, sondern um die Verbindungslinie des Punktes *i*, in welchem die Gesichtslinie in der neuen Stellung die Ophthalmometeraxe schneidet, mit dem Gesichtszeichen. Die Lage dieses Punktes ist aber unbestimmbar, wenn α nicht gegeben ist. In keinem Falle darf aber bei der Berechnung der Abstand des Drehpunktes von der Cornea vernachlässigt werden.

Es darf uns, meine Herren! die Zeit nicht gereuen, die wir auf die letzten theoretischen Betrachtungen verwendet haben, es handelte sich um eine längst erwünschte Klarlegung der in Rede kommenden Verhältnisse. Es ist sonderbar, dass ich der Erste auf die besprochenen Fehler aufmerksam gemacht habe. Ich muss an dieser Stelle Helmholtz in Schutz nehmen gegenüber einem ostensibel zweimal angeführten Citate Woinow's [1]). Wenn Helmholtz wirklich bei der Donders'schen Messungsmethode des Winkels α diesen Winkel für den Winkel zwischen Blicklinie und Hornhautaxe erklärt hätte, so wäre dies natürlich theoretisch ein capitaler Fehler, da beim Beschreiben des Gradbogens aus dem Knotenpunkte noch immer weit eher der Winkel zwischen Gesichtslinie und Hornhautaxe, als jene zwischen Blicklinie und Hornhautaxe gemessen wird. Es ist aber Helmholtz nicht in den Sinn gekommen, dies zu behaupten.

Woinow, der sich nach mir mit demselben Gegenstande beschäftigte, hat (in den ophthalmometrischen Studien) eine Arbeit über den Winkel α veröffentlicht, in welcher er so bescheiden ist, sich nicht zum Entdecker der Fehlerhaftigkeit der genannten Methoden aufzuwerfen. So weit habe ich gegen Woinow's Angaben Nichts einzuwenden. Allein wenn er diese ganze eigentlich rein theoretische Betrachtung in eine unverantwortliche optische Spielerei dadurch ausarten lässt, dass er auch noch die Aenderung der Lage des Knotenpunktes in Betracht zieht, welcher, selbst falls der Gradbogen nur 12" vom Auge absteht, im Vergleiche zu seiner Lage im nicht accommodirenden Auge nur um circa 0·2 $M^{m.}$ vorrückt (eine Grösse, kleiner als jede Fehlerquelle), und wenn er endlich, um den Winkel α zu messen, von dem, wie er behauptet, unbekannten Scheitelpunkte des zu messenden Winkels

[1]) Ophthalmometrische Studien. pag. 48, und Gräfe's Archiv XVI. 1. pag. 226.

Digitized by Google

Gradbogen beschreibt, so verdient dies ernstlich gerügt zu werden. Möge er sich in letzterer Beziehung nicht auf Donders berufen, der auch, um den Drehpunkt des Auges zu bestimmen, aus dem zu suchenden Drehpunkte einen Gradbogen beschrieb. Es ist dies ein anderer Fall.

Den angeführten Messungs- und Bestimmungsmethoden haben wir noch Folgendes beizufügen: die Messung der drei Radii: r, r_1, r_2 (Fig. 24) genügt, um ausser dem Radius ϱ im Scheitel der Ellipse a, den man auf einfachere Weise direct messen kann, die grosse und kleine Axe der Ellipse, ab und cd, sowie die lineare Excentricität, d. i. den Abstand des Mittelpunktes von einem Brennpunkte, oF, zu berechnen. Die Brennweiten der Hornhaut können nach Bestimmung des Halbmessers und unter Zugrundelegung des Werthes für den Brechungsindex des Kammerwassers ebenfalls eruirt werden. Endlich kann auch noch die Hornhauthöhe, der Abstand des Scheitels von deren Basis bestimmt werden. Bei dem Versuche (Fig. 17), in welchem wir das vom Hornhautcentrum reflectirte Bild und sein Doppelbild auf die entsprechenden Hornhauträuder stellen, haben wir die Hornhaut um ihre Hälfte, oder vielmehr um den halben Durchmesser ihrer Basis verschoben. Die Grösse dieser Linie ist durch die Grösse des Winkels, um welchen die Ophthalmometerplatten hierbei gedreht werden mussten, gegeben. Aus dieser Grösse, sowie aus der grossen und kleinen Axe kann man den Abstand des Scheitels der Hornhaut von deren Basis deduciren.

IV. Bestimmung.

Mit der Messung der Hornhaut hat die Ophthalmometrie ihre Aufgabe noch lange nicht erfüllt. Ausser, dass mit ihrer Hilfe noch die Tiefe der vordern Kammer gemessen wird, fragt es sich, ob sie auch dazu verwendet werden könne, mit Hilfe der Messung von Bildern den Halbmesser der vordern und hintern Linsenfläche direct aufzufinden. Helmholtz und nach ihm Knapp haben nur zumeist auf indirecte Weise die Grösse der Linsenbilder zu messen gesucht, indem die Grösse der Bildchen der Linsenflächen mit einem dicht danebenstehenden Hornhautbildchen verglichen, das letztere dem ersteren gleichgemacht wurde. Aus der Grösse des Hornhautbildchens, welches ja genau gemessen werden konnte, wurde dann ein Rückschluss auf die Grösse des Linsenbildchens und auf die Krümmung der Linsenflächen gemacht.

Will man bei Anwendung der gewöhnlichen Lichtquellen, selbst der hellbrennendsten Gasflammen die Linsenreflexe durch das Ophthalmometer beobachten und es versuchen, dieselben in ähnlicher Weise wie bei der Hornhautuntersuchung zu zerlegen, so gelingt dies absolut

Digitized by Google

nicht. Die Bilder sind zu lichtschwach, um überhaupt wahrgenommen werden zu können. Da aber andererseits die Methoden von Helmholtz und Knapp zur Bestimmung der Linsenkrümmungen viel zu wünschen übrig liessen, so versuchte Rosow auf Helmholtz's Vorschlag eine stärkere Beleuchtung für die Linsenuntersuchung. Die Anwendung von Drummond'schem Lichte führte noch zu keinem befriedigenden Resultate. Dagegen ward endlich in dem directen Sonnenlichte die entsprechende Lichtquelle gefunden. Bei Herbeiziehung des directen Sonnenlichtes werden die Bilder der vordern und hinteren Linsenkapsel scharf genug, um durch das Ophthalmometer gesehen, und durch Verdopplung gemessen werden zu können.

Die Schärfe, mit welcher diese Bilder bei Sonnenbeleuchtung hervortreten, ist für Jeden wahrhaft überraschend, der sich vergeblich bemüht hat, bei der gewöhnlichen Beleuchtungsmethode von diesen Reflexen auch nur irgend Etwas zu erhaschen. Rosow selbst hat die Messungen in einer grösseren Anzahl von Fällen nicht durchgeführt. Dagegen liegen derartige Messungen von Seiten Woinow's, Strawbridge's und Adamük's bereits vor.

Fünfte Vorlesung.

Definition der Accommodationsbreiten. Bezeichnungsweise der Brillenwerthe. Die Ausdrücke für die Accommodationsbreiten des Emmetropen und Ametropen.

Aus den Höhen der Ophthalmometrie wollen wir in der heutigen Vorlesung in ein mehr zugängliches und für den practischen Augenarzt wichtigeres Gebiet, jenes der Accommodationsbreiten nämlich, hinabsteigen. Was wir unter dem Accommodationsvermögen des Auges im Allgemeinen zu verstehen haben, dies ist uns in einem früheren Vortrage klar geworden. Wir haben nicht vergessen, dass die Eigenschaft des Auges, seine Refraction durch Muskelkraft zu ändern, eben jenes Vermögen repräsentirt. Die stärkste Linse aber, welche sich ein Auge zuzulegen vermag, wird unter übrigens gleichen Verhältnissen eine verschiedene sein, je nachdem das Auge für sich allein in Action tritt, oder je nachdem es mit seinem Genossen, also im binoculären Sehacte, wirkt, oder endlich je nachdem eine bestimmte Convergenz der Sehaxen, die wir im Momente unserer Bestimmungen als unveränderlich ansehen wollen, festgestellt ist

Digitized by Google

Die stärkste Linse, welche sich ein Auge zuzulegen vermag, wenn es für sich allein ohne Rücksicht auf den binoculären Sehact thätig ist, nennt man die absolute Accommodationsbreite, während jene Linse, um welche die Brechkraft jedes Auges verstärkt werden kann, während der binoculäre Sehact eingehalten wird, die binoculäre Accommodationsbreite darstellt. Jene Linse endlich, um deren Werth die Augen ihre Brechkraft ändern können, falls eine bestimmte Convergenz der Gesichtslinien gegeben ist, wird als relative Accommodationsbreite bezeichnet, und wenn demnach sowohl die absolute als die binoculäre Accommodationsbreite für ein bestimmtes Augenpaar zu einer bestimmten Zeitperiode nur Eine ist, so besitzt andererseits eben dieses Augenpaar begreiflicher Weise eine ganze Reihe verschiedener relativer Accommodationsbreiten, da ja jeder einzelnen Gesichtslinienconvergenz eine bestimmte relative Accommodationsbreite entspricht. Die absolute, binoculäre und relative Accommodationsbreite sind also nichts Anderes als Linsenwerthe, und wir werden daher für diese Grössen dieselbe Bezeichnungsweise einzuführen in der Lage sein, welche für unsere Glasconvexlinsen gilt.

Es tritt demnach zunächst die Frage zur Beantwortung an uns heran, in welcher Art und Weise wir die Refraction unserer Linsen auszudrücken pflegen. Es ist a priori einleuchtend, dass wir in zweierlei Weise vorgehen können. Wir können nämlich entweder von einer das Licht sehr stark brechenden Linse, also von einer Linse *A* von sehr kurzer Brennweite als Einheit ausgehen, so zwar, dass die gewöhnlich zur Verwendung kommenden Linsen, weil schwächer brechend, in ihrem Werthe als Bruchtheile der als Massstab angenommenen auftreten, die Brechkraft von Linsen aber, welche eine noch kürzere Brennweite als die Linse *A* hätten, durch ein Vielfaches des Werthes von *A* dargestellt würde — oder aber wir legen eine Linse *B* von sehr grosser Brennweite, also sehr geringer Brechkraft zu Grunde, so dass dann der Werth der meisten in Gebrauch stehenden Linsen ein Vielfaches des Werthes der Linse *B* repräsentirt und nur besonders schwache Linsen als Bruchtheile dieser letztgenannten Grösse erscheinen.

Es ist jetzt üblich — und vorzüglich durch Donders wurde diese Bezeichnungsweise cultivirt — von einer starken Linse, nämlich einer solchen von 1″ B. W. als Einheit auszugehen. Die Brennweite dieser Linse ist 1 und ihre Brechkraft ist gleichfalls 1. Ist dieses einmal festgesetzt, dann ist Nichts leichter, als die Brechkräfte der übrigen Linsen mit jener der Normallinse zu vergleichen. Welche Brechkraft entspricht z. B. einer Linse von 2″ B. W.? Ich erhalte den Ausdruck

Digitized by Google

dafür in Form eines Bruches, in dessen Zähler 1 und in dessen Nenner die Zahl 2 (die Brennweite der Linse in Zollen ausgedrückt) steht, die Brechkraft der Linse ist demnach $^1/_2$, der reciproke Werth ihrer Brennweite. Der Bruch $^1/_2$ sagt aus, dass eine Linse von 2″ Brennweite nur die Hälfte der Brechkraft der Normallinse besitzt, dass ich demnach zwei derartige Linsen brauche, um eine Combination herzustellen, welche ebenso wie Convex 1 wirkt. Durch diese Ausdrucksweise ist es möglich, anzugeben, welche Wirkung die Summe mehrerer Linsen, deren Brennweiten uns bekannt sind, ausübt. Ich frage, wie wirkt ein Linsensystem, zusammengesetzt aus drei Linsen, von denen die eine eine Brennweite von 6″, die zweite eine solche von 12″ besitzt, während der dritten eine Focaldistanz von 4″ zukommt, vorausgesetzt, dass die Linsen so dicht aneinander liegen, dass der Abstand ihrer optischen Mittelpunkte vernachlässigt werden kann? Können wir zur Beantwortung dieser Frage die Zahlen 6, 12 und 4 direct in Angriff nehmen? Nein, wohl aber deren reciproke Werthe. Die Brechkraft $\frac{1}{x}$ der zu suchenden Linse von x″ B. W. ist gleich:

$$^1/_6 + ^1/_{12} + ^1/_4 = ^6/_{12} = ^1/_2.$$

Die Combination besitzt demnach eine Brechkraft $^1/_2$, wirkt also wie eine Convexlinse von 2″ B. W.

Andererseits wird die Brechkraft einer Linse von $^1/_2$″ B. W. durch 2 ausgedrückt, sie ist doppelt so gross, als jene der Normallinse, und sollte an uns, was uns allerdings auf unserem Gebiete nicht passiren kann, die Frage herantreten, was die Combination dreier Linsen mit Brennweiten von $^1/_6$, $^1/_{12}$ und $^1/_4$ Zoll leistet, so werden wir um die Antwort nicht verlegen sein. Die Brechkraft des Systems wird sein: $6 + 12 + 4 = 22$, die Brennweite einer Linse von gleicher Action, wie sie die Combination ausübt, wird $^1/_{22}$ Zoll betragen.

In neuerer Zeit hat man nun auch von verschiedenen Seiten begonnen, statt einer starken Linse eine solche von grosser Focaldistanz zum Ausgangspunkte der Vergleichung zu nehmen. Giraud-Teulon machte (1864) den Anfang. Er legt eine Linse von 18′ = 216″ zu Grunde. Diese Linse, mit der Brechkraft $^1/_{216}$, ist die Einheit. Nur ein Glas, welches eine noch grössere Brennweite, also eine noch geringere Brechkraft hätte, würde durch eine gebrochene Zahl ausgedrückt werden. Die Refraction einer Linse von 36′ = 432″ z. B. wäre $^1/_2$. Mit so schwachen Linsen hat man es jedoch nicht zu thun und desshalb wird der Werth der in Verwendung kommenden Gläser immer ein Vielfaches der Giraud-Teulon'schen Einheit sein. Zeigen wir an eini-

Digitized by Google

gen Beispielen, wie die Linsen nach Giraud-Teulon zu bezeichnen wären. Eine Linse von 36″ B. W. z. B. würde als Nr. 6. erscheinen, denn sie würde durch 6 Einheiten ausgedrückt, da $^{6}/_{216} = {}^{1}/_{36}$. In gleicher Weise wäre eine Linse von 18″ B. W. = Nr. 12, da $^{18}/_{216} = {}^{1}/_{18}$. Nr. 24 wäre eine Linse $^{1}/_{9}$, Nr. 36 = $^{1}/_{6}$, Nr 72 = $^{1}/_{3}$, Nr. 216 = 1. Man muss gestehen, dass die Zahl 216 ziemlich glücklich gewählt ist, indem die Gläser, welche in unseren Brillenkästen enthalten sind, sich unter Zugrundelegung dieser Einheit fast sämmtlich durch ganze Zahlen im Giraud-Teulon'schen Sinne ausdrücken lassen.

Zehender hat (1866) den Vorschlag gemacht, eine Linse von 48″ B. W. als Einheit anzunehmen. Jede Linse wird dann durch jene Zahl bezeichnet, welche angibt, wie viele Einheiten, d. i. $^{1}/_{48}$ Linsen in derselben enthalten sind.

Nach Zehender ist demnach:

Nr. $^{1}/_{2} = {}^{1}/_{96}$	Nr. 6 = $^{1}/_{8}$
Nr. 1 = $^{1}/_{48}$	Nr. 8 = $^{1}/_{6}$
Nr. 2 = $^{1}/_{24}$	Nr. 12 = $^{1}/_{4}$
Nr. 3 = $^{1}/_{16}$	Nr. 16 = $^{1}/_{3}$
Nr. 4 = $^{1}/_{12}$	Nr. 24 = $^{1}/_{2}$

Nagel hat (1867) das Zollmass verworfen und als Einheit die Meterlinse, d. i. eine Linse, deren Brennweite 1 Meter (= c. 37 Pariser Z. = c. 38¼ Preuss. Zoll = c. 38 Wiener Z. [1]) beträgt, proponirt. Da es hierbei gleichfalls eine schwache Linse ist, welche in's Spiel kommt, so sind die gewöhnlichen Brillengläser Multipla dieser Meterlinse, und dies noch mehr, wenn man, wie es Burow schliesslich (1868) that, eine Linse von drei Meter B. W. zu Grunde legt.

Wir wollen vorläufig von diesen verschiedenen Ausdrucksweisen für die Linsenwerthe einfach Notiz nehmen, wir werden an einem andern Orte, an welchem wir über die Reihenfolge der Gläser zu sprechen haben werden, Gelegenheit finden, über diesen Gegenstand zu handeln. Hier mussten wir nur die verschiedenen Bezeichnungsarten kennen lernen, weil wir die Accommodationsbreiten als Linsenwerthe definirten und daher jetzt erst in der Lage sind, für die ersteren Zahlenwerthe einzuführen. Nehmen wir zuerst irgend ein allgemeines Beispiel. Ein Auge gehe eine Accommodationsänderung ein, es lege sich etwa eine Linse zu, gleichwerthig einer vor das ruhende Auge gesetzten Glaslinse von 12″ B. W., wobei wir den Abstand zwischen dem optischen Centrum des Glases und jenem des Auges vernachlässigen wollen.

[1]) Genau: 1 Meter = 36·94 P. Z. = 38·23 Pr. Zoll = 37·96 W. Zoll.

Digitized by Google

Diese Accommodationsveränderung wird nach Donders ausgedrückt durch den Bruch $^1/_{12}$, jede Accommodationsveränderung allgemein durch einen Bruch: $^1/x$. Nach Giraud-Teulon, Zehender, Nagel und Burow ist der Accommodationswerth eine ganze (oder gemischte) Zahl x, in dem speciellen Falle ist $x = 18$ (Giraud-Teulon), $= 4$ (Zehender), $= 3$ (Nagel $^3/_{36 \cdot 9\frac{1}{4}} =$ c. $^1/_{12}$) $= 9$ (Burow).

Indem wir für unseren Theil die Donders'sche Bezeichnungsweise aufrecht erhalten, gehen wir nunmehr zu einer genaueren Betrachtung der verschiedenen Arten der Accommodationsbreiten über.

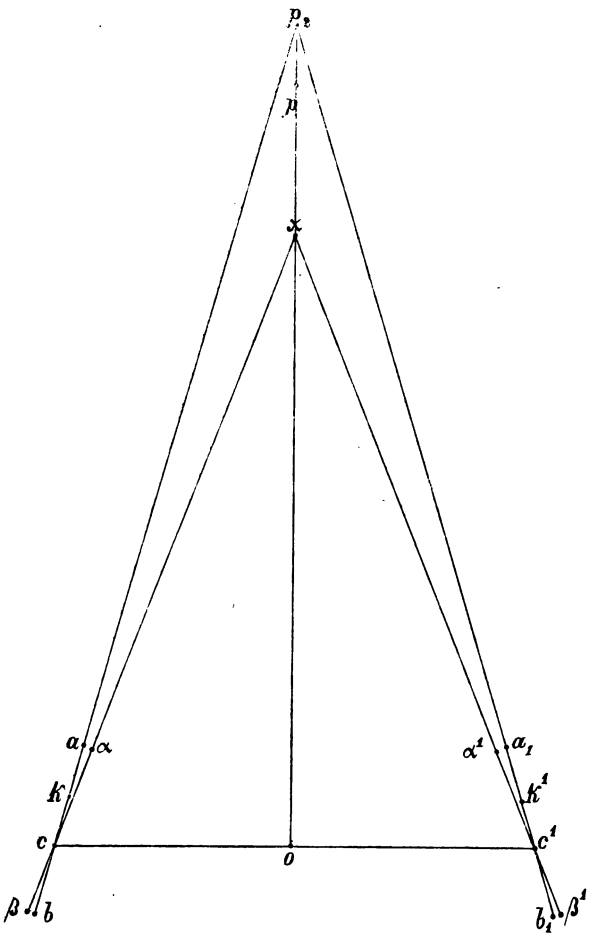
Nehmen wir ein jugendliches Individuum mit zwei scharfsichtigen, gemeinschaftlichen Sehact und gleiche Refraction besitzenden Augen. Die Refraction der Augen wäre normal, d. h. bei Accommodationsruhe würden von unendlich entfernten Objecten deutliche Bilder auf der Netzhaut entworfen.

Es besteht ein Zusammenhang zwischen der Contraction der Brücke'schen und der geraden inneren Augenmuskeln. Die beiden Muskelpaare zeigen Mitbewegung. Wenn die Gesichtslinien parallel gestellt sind, so befinden sich hierbei die Accommodationsmuskeln sowie die Musculi recti interni bei normalgebautem Auge im Zustande der Ruhe. Sowie aber die Augenaxen zu convergiren beginnen, so beginnt auch die Zusammenziehung des Accommodationsmuskels in der Art, dass die Augen für jenen Punkt accommodirt sind, für welchen sie convergiren. Mit zunehmender Convergenz wird in Folge dessen auch die Contraction des Accommodationsmuskels sich in entsprechender Weise erhöhen, allein es kann endlich eine Grenze kommen, von welcher angefangen die Wirkungen der beiden Muskelpaare nicht mehr harmoniren, so zwar, dass die von einem bestimmten Punkte fortschreitende Convergenz der Gesichtslinien noch eine Spannungszunahme im Accommodationsapparate herbeiführt, diese aber nicht gross genug ist, um von jenem Objecte, auf welches die Gesichtslinien nunmehr gerichtet sind, noch vollkommen deutliche Bilder auf der Netzhaut erscheinen zu lassen. Durch folgende Zeichnung wird das Gesagte sofort noch klarer werden. Es bezeichnen (Fig. 29) e und e^1 die Drehpunkte der beiden Augen A und B; der Abstand der beiden Drehpunkte cc^1, welchen man Grundlinie nennt, kann mit Donders 2″ $4^1/_2$‴ gleichgesetzt werden. Die Gesichtslinien der beiden Augen, ab und a_1b_1, convergiren nach einem in der Medianlinie (d. i. in der im Mittelpunkte o der Linie cc^1 auf die letztere errichteten Senkrechten) gelegenen, 4″ von der Grundlinie entfernten Punkte p_2. Die Augen sehen diesen Punkt noch deutlich, denn jedes derselben hat sich nunmehr eine Linse $^1/_4$ zugelegt. Die Convergenz

Digitized by Google

hat aber hiermit noch nicht ihre Grenze erreicht. Es ist eine noch stärkere Convergenz, etwa nach einem 3″ entfernten Punkte x möglich.

Fig. 29.



Nun aber ist es dem Auge nicht gegeben sich eine Linse $^1/_3$ zuzulegen, es wird demnach der binocular fixirte Punkt x nicht mehr deutlich gesehen. Wenn aber auch der Nahepunkt einerseits nicht bis nach dem Convergenzpunkte, also 3″ an das Auge heranrücken konnte, so ist er andererseits nicht in p_2 stehen geblieben, sondern befindet sich auf dem Wege zwischen p_2 und x, etwa in p, $3^3/_4$″ vom Auge. Da die Gesichtslinien aber nach x gerichtet sind, so fällt das Bild des Punktes p

Digitized by Google

in jedem Auge nach innen von der fovea centralis retinae und p wird desshalb in gleichnamigen Doppelbildern gesehen. Aus dem Gesagten geht hervor, dass für die Augen ein nächster Punkt, der nicht durch die stärkste Convergenz der Gesichtslinien gegeben ist, existirt, in welchem noch binocular scharf gesehen werden kann. Dieser Punkt, der binoculäre Nahepunkt, sei in unserm Falle p_2, und wird nach Donders ganz allgemein mit p_2 bezeichnet. Jene Linse nun, welche jedes der Augen sich zulegt, wenn die Gesichtslinien nach dem binoculären Nahepunkte convergiren, ist die binoculäre Accommodationsbreite, welche nach Donders durch $\frac{1}{A_2}$ ausgedrückt wird. In dem von uns gesetzten Falle ist $\frac{1}{A_2} = {}^1/_4$. Wir können nicht umhin, hierbei darauf aufmerksam zu machen, dass wenn unsere Gesichtslinien nach einem 4″ entfernten Punkte convergiren, damit noch nicht eo ipso sichergestellt ist, dass sich unsere normalgebauten Augen, um diesen Punkt deutlich zu sehen, eine Linse ${}^1/_4$ zulegen müssen. Wenn wir sagen, der Convergenzpunkt liegt in der Medianlinie 4″ vor den Augen, so fragt es sich, wie wir diese Distanz messen. Wir können hiebei offenbar nur den Abstand op_2 des Punktes p_2 von der die Drehpunkte verbindenden (Grund-) Linie, cc^1, im Auge haben, da die Convergenzgrösse durch die Grösse des Winkels, welchen die Gesichtslinien bei c und c^1 mit der Grundlinie einschliessen, gegeben ist. Wie weit ist aber dieser Punkt p_2 von jedem der Augen entfernt? Wenn von der Entfernung eines Objectes vom Auge gesprochen wird, so muss bei unseren Betrachtungen darunter immer der Abstand vom optischen Centrum (dem vereinigten Knotenpunkte) des Auges verstanden werden, gerade so wie die Lage und Grösse der von einem Systeme von Glaslinsen entworfenen Bilder zuvörderst von dem Abstande des Objectes von dem optischen Mittelpunkte (resp. den beiden Knotenpunkten) des Systems abhängig ist. Im Knotenpunkte des Auges denken wir uns jene ideale Glaslinse angebracht, die uns das optische System des Auges repräsentirt und vor welche wir uns während des Accommodationsactes Glaslinsen von verschiedener Brennweite gelegt denken. Es fragt sich nun: Wenn der Punkt p_2 4″ von der Grundlinie entfernt ist, wie weit steht er von dem Knotenpunkte (k oder k^1) jedes Auges ab? Die Sache ist leicht zu berechnen. $\triangle$ $p_2\,oc$ ist ein rechtwinkeliges Dreieck. Die eine Kathete $p_2\,o = 4''$, die andere $oc = 14^1/_4'''$ (halbe Grundlinie). Daraus finden wir für die Hypotenuse p_2c die Länge von 4″ 2·07‴, und wenn wir von dieser

Digitized by Google

Grösse den Abstand des Knotenpunktes vom Drehpunkte $ck = 6{\cdot}5\,M^{m.}$ [1]) $= 2{\cdot}88'''$ abziehen, so erhalten wir $p_2k = 3''\ 11{\cdot}19'''$. Wenn also der Convergenzpunkt $4''$ von der Grundlinie entfernt ist, so steht er unter den gegebenen Verhältnissen $3''\ 11{\cdot}19'''$ von k ab, es wird sich daher jedes Auge eine etwas stärkere Linse, als $^1/_4$, zulegen müssen, um im Convergenzpunkte deutlich zu sehen, doch ist die Differenz, die hierbei eintritt, selbst bei so starker Convergenz eine so geringe (nämlich eine solche von $^1/_5'''$ und wird bei schwächerer Convergenz eine immer geringere), dass wir füglich gänzlich davon absehen können. Erwähnenswerth erschien mir aber immerhin, in welcher Weise wir diese Verhältnisse eigentlich aufzufassen haben.

Kehren wir zu unseren Accommodationsbreiten zurück. Mit der binoculären wären wir im Reinen, jetzt wollen wir zunächst die absolute definiren. Dies ist bald geschehen. Die absolute Accommodationsbreite ist die stärkste Linse, welche sich ein Auge überhaupt zuzulegen vermag. Wenn (Fig. 29) bei stärkster Convergenz von keinem näheren Punkte, als dem $3^3/_4''$ abstehenden p ein deutliches Bild auf der Netzhaut entworfen werden kann, dann ist eine Linse von $3^3/_4$ B. W. die stärkste Linse, welches sich das Auge hinzuzufügen vermag, dann ist die absolute Accommodationsbreite, die nach Donders als $\frac{1}{A}$ bezeichnet wird, $= \frac{1}{3\frac{3}{4}}$. Wir würden, wie wir sahen, Doppelbilder erhalten, wollten wir den Punkt p mit beiden Augen genau sehen. Wir haben aber einen solchen Abscheu vor Doppelbildern, dass wir in jedem Falle hierauf verzichten würden, wenn wir nicht durch die Schliessung Eines Auges oder auch auf andere Weise Ein Bild eliminiren könnten. Bei dem Gebrauche Eines Auges allein kann also dieses von seiner absoluten Accommodationsbreite Gebrauch machen.

Was verstehen wir unter relativer Accommodationsbreite? Ehe wir auf diesen Gegenstand eingehen, sei Folgendes in Betracht gezogen. Es steht uns begreiflicher Weise frei, jede Linse aus einer beliebigen Anzahl schwächer brechender Linsen von gleicher oder verschiedener Brennweite uns zusammengesetzt zu denken. Nehmen wir z. B. eine Convexlinse $^1/_2$ und denken wir uns dieselbe aus lauter $^1/_{24}$ Linsen zusammengefügt.

Zwölf vierundzwanzigstel Linsen werden in die Bildung einer solchen Linse eingehen. Was wir mit einer Linse thun können, können

[1]) S. pag. 67.

Digitized by Google

wir auch mit der Accommodationsbreite vollführen. Donders hat auf diese Weise eine fictive Accommodationsbreite $^1/_2$ in derartige 12 vierundzwanzigstel Linsen zerlegt. Denken wir uns ein normalgebautes d. i. bei Accommodationsruhe parallele Strahlen auf seiner Netzhaut vereinigendes Auge lege sich absatzweise eine $^1/_{24}$ Linse nach der andern zu. Es sieht dann deutlich mit $\frac{1}{24}$ Linse in 24″,

mit $2 \times \frac{1}{24}$ „ in 12″, da $\frac{2}{24} = \frac{1}{12}$

mit $3 \times \frac{1}{24}$ „ in 8″, da $\frac{3}{24} = \frac{1}{8}$

mit $4 \times \frac{1}{24}$ „ in 6″, da $\frac{4}{24} = \frac{1}{6}$

mit $5 \times \frac{1}{24}$ „ in $4\frac{4}{5}$″, da $\frac{5}{24} = \frac{1}{4\frac{4}{5}}$

mit $6 \times \frac{1}{24}$ „ in 4″, da $\frac{6}{24} = \frac{1}{4}$

mit $7 \times \frac{1}{24}$ „ in $3\frac{3}{7}$″, da $\frac{7}{24} = \frac{1}{3\frac{3}{7}}$

mit $8 \times \frac{1}{24}$ „ in 3″, da $\frac{8}{24} = \frac{1}{3}$

mit $9 \times \frac{1}{24}$ „ in $2\frac{2}{3}$″, da $\frac{9}{24} = \frac{1}{2\frac{2}{3}}$

mit $10 \times \frac{1}{24}$ „ in $2\frac{2}{5}$″, da $\frac{10}{24} = \frac{1}{2\frac{2}{5}}$

mit $11 \times \frac{1}{24}$ „ in $2\frac{2}{11}$″, da $\frac{11}{24} = \frac{1}{2\frac{2}{11}}$

mit $12 \times \frac{1}{12}$ „ in 2″, da $\frac{12}{24} = \frac{1}{2}$.

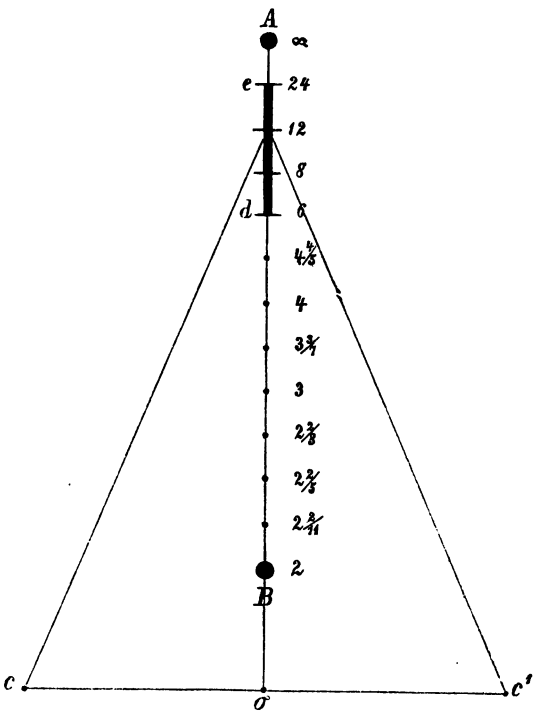
Sie sind, meine Herren! von diesen Multplicationsexempeln ganz ermüdet. Allein wir lernen aus den gegebenen Daten, dass durch eine und dieselbe Refractionsvermehrung des dioptrischen Systems sehr verschiedene lineare Masse im Raume durchlaufen werden. Um von $2^2/_{11}$ auf 2″ zu accommodiren, müsste sich das Auge die gleiche Linse, nämlich $^1/_{24}$, zulegen, wie um aus der unendlichen Entfernung für jene von 24″ sich einzustellen. Ueberhaupt drücken uns je 2 unter einanderstehende Distanzwerthe eine Refractionsänderung von $^1/_{24}$ aus. Wir haben absichtlich den Ausdruck vermieden, dass es für das Auge die nämliche Accommodationsanstrengung bedeute, wenn es einerseits z. B. von der Unendlichkeit für 24″ und andererseits etwa von $4^4/_5$ für 4″ accommodire. Denn wenn es sich auch in beiden Fällen um gleiche Refractionsänderungen handelt, so ist doch die Kraft, welche die letzteren erzeugte, in den beiden Fällen eine verschiedene. Es erfordert sicherlich eine grössere Anstrengung, den Nahepunkt, der sich eben in $4^4/_5$″ befindet, um $^4/_5$″ bis auf 4″ heranzubringen, als um die Strecke von der Unendlichkeit bis zu 24″ zu durchlaufen. Denn einerseits wird der

Digitized by Google

Accommodationsmuskel, der sich seiner Contractionsgrenze nähert, um einen gleichen Effect zu erzielen, eine stärkere Anstrengung ausführen müssen, als wenn er aus dem Zustande der Ruhe eben erst in jenen der Zusammenziehung übergeht; andererseits wird ein und dieselbe Muskelcontraction eine grössere Formveränderung der Linse und damit eine grössere Refractionsänderung herbeiführen, wenn die Linse eben erst aus ihrer Gleichgewichtsfigur gebracht wird, eben erst ihre Form zu ändern beginnt, als wenn sie schon beinahe ihre grösste Convexität erreicht hat.

Die Linie AB (Fig. 30) stelle uns eine Accommodationsbreite $^1/_2$ vor, das ganze Accommodationsgebiet ist nach Donders in 12 gleiche Theile getheilt in der Art, dass der Abstand je zweier unmittelbar unter einanderstehender Theilpunkte $= {}^1/_{24}$ Linse ist. Eine solche Eintheilung des Accommodationsgebietes ist eigentlich nach dem eben Gesagten unstatthaft. Wenn wir die ganze Kraft, welche dem Accommodationsmuskel zukommt, in gleiche Theile zerlegen und als Einheit jene Anstrengung setzen, welche der Muskel vollführen muss, um der ruhenden Linse eine Linse $^1/_{24}$ zuzulegen, dann wird, wenn die Muskelcontraction immer um die gleiche Einheit zunimmt, die resultirende Linse um so schwächer werden, je weiter die Zusammenziehung des Muskels vorgeschritten, je mehr der Nahepunkt an's Auge heranrückt. Die vierundzwanzigstel Linsen bedeuten also ungleiche Theile der Accommodationskraft und zwar kommt ihnen ein um so grösserer Werth zu, je mehr sie sich dem Punkte B nähern. Trotzdem wollen

Fig. 30.

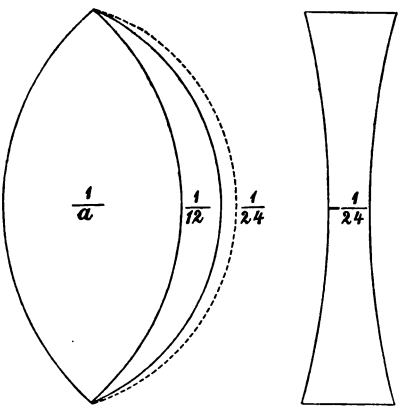


Digitized by Google

wir, da wir zur schematischen Darstellung eine gleichmässige Eintheilung des Accommodationsgebietes brauchen, dieselbe aber nach dem richtigen Principe in Zahlen zu geben unmöglich ist, an der Donders'schen Eintheilung festhalten, werden aber nicht umhin können, auf diesen Gegenstand noch bei Gelegenheit zurückzukommen.

Nehmen wir bei der Besprechung der relativen Accommodationsbreite wiederum an, wir hätten zwei scharfsichtige, normalgebaute Augen eines jugendlichen Individuums mit normalem Muskelapparate. Die Gesichtslinien sollen nach einem 12″ entfernten Punkte convergiren. Dann hat sich hiebei jedes Auge eine Linse $^1/_{12}$ zugelegt, da in der Entfernung von 12″ jetzt deutlich gesehen wird. Haben nun die Augen während die Convergenz für 12″ eingehalten wird, keine Accommodationsbreite? d. h. kann der Accomodationsmuskel seinen Contractionszustand während einer bestimmten Gesichtslinienconvergenz nicht ändern, ist die Figur der Linse für jede Convergenz nur Eine und unveränderliche? Legen wir, um diese Frage zu entscheiden, während die Convergenz für 12″ ungeändert bleibt, vor jedes der Augen ein schwaches Concavglas, etwa von 24″ B. W. Wenn die Augen trotz dieses Concavglases fortfahren würden, in der Distanz von 12″ deutlich zu sehen, so würde dies beweisen, dass sich jedes Auge, repräsentirt durch die Linse $\frac{1}{a}$ (Fig. 31) zu der Linse $^1/_{12}$ jetzt noch eine Linse $^1/_{24}$ hinzulegte, denn nur dann, wenn dies geschähe, würde die vor dem Auge stehende Concavlinse paralysirt und dem Auge bliebe noch immer die Linse $^1/_{12}$, um von dem 12″ entfernten Objecte ein deutliches Bild auf der Netzhaut zu entwerfen. Wenn nun dieser Versuch unter den gegebenen Voraussetzungen gemacht wird, dann kann man sich in der That überzeugen, dass man, wenn auch das Object kleiner zu werden scheint, doch deutlich zu sehen fortfährt. Es hat sich also wirklich bei unveränderter Convergenz die Accommodation geändert und man findet den Ausdruck für die der gegebenen Convergenz entsprechende grösste Accommodationsanstrengung, wenn man die stärkste Concavlinse bestimmt, die noch überwunden wird, die also die deutliche

Fig. 31.



Digitized by Google

Wahrnehmung noch nicht vereitelt. Es möge sich ergeben, dass Augen von erwähnter Beschaffenheit bei einer Convergenz von 12″ eine Concavlinse von 12″ aber keine stärkere zu neutralisiren vermögen. Dann ist die stärkste Linse, welche sich jedes Auge hiebei zu der Linse $^1/_{12}$ noch zulegen konnte, wieder eine Linse $^1/_{12}$. Die Summe der Linsen, die sich das Auge jetzt in toto zugefügt hat, ist $^1/_{12} + ^1/_{12} = ^1/_6$. Das Auge zeigt also in diesem Momente, trotzdem die Convergenz für 12″ sich nicht änderte, eine Accommodationsanstrengung, die genügen würde, um in der Entfernung von 6″ deutlich zu sehen, es kann demnach bei der Convergenz von 12″ die Accommodationsanstrengung, deren es bedarf, um im Convergenzpunkte deutlich zu sehen, gerade noch verdoppeln, ja noch mehr, da nach dem oben Erörterten einer Accommodation von 12 bis 6″ Zoll ein grösserer Werth zukommt, als jener von der Unendlichkeit bis zu 12″.

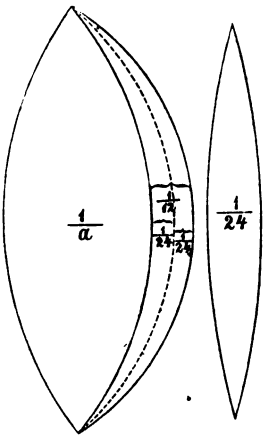
So wie demnach das Vorlegen von Concavgläsern den Beweis liefert, dass bei der Convergenz von 12″ die Accommodation nach einer Richtung hin keine unveränderliche ist, nämlich gegen den Nahepunkt hin geändert werden kann, so werden uns andererseits Versuche mit Convexgläsern darüber belehren, ob vielleicht bei dieser Convergenz auch eine Relaxation des Accommodationsmuskels möglich sei. Legen wir vor die in der bewussten Convergenz beharrenden Augen jederseits etwa eine Convexlinse von 36″ B. W.

Der dioptrische Apparat des Auges hat jetzt im Vergleiche mit dem Ruhezustande ein Plus von zwei Linsen, von $^1/_{12} + ^1/_{36}$. Da die Summe dieser beiden Linsenwerthe $^1/_9$ ist, so sind die Augen für einen 9″ entfernten Punkt eingestellt, können demnach im Convergenzpunkte, in 12″, nicht deutlich zu sehen fortfahren. Und dennoch lehrt der Versuch, dass die Wahrnehmung durch die genannten Convexgläser nicht an Deutlichkeit verliert. Dies ist offenbar nur dann möglich, wenn das Auge sich selbst jene Linse, die ihm vorgesetzt wurde, wegnimmt, so dass die Summe jener Linse, die das Auge noch durch Accommodation zugelegt behält, und der vor das Auge gestellten $= ^1/_{12}$ ist. Indem wir bei diesen Proben immer stärkere Convexgläser vorsetzen, können wir ermitteln, wie weit die Relaxation des Accommodationsmuskels bei einer bestimmten Convergenz gehe. In dem gegebenen Falle wäre (Fig. 32) $^1/_{24}$ das stärkste Convexglas, welches die Deutlichkeit der Wahrnehmung noch nicht beeinträchtigte. Dann muss sich das Auge einer Linse $^1/_{24}$ entledigen, da die dann ihm noch bleibende Linse $^1/_{24}$ plus der vor dem Auge stehenden $^1/_{24} = ^1/_{12}$ ist. Bei den eben erwähnten

Digitized by Google

Proben mit Concav- und Convexgläsern ist der Abstand derselben vom Augenknotenpunkte vernachlässigt.

Fig. 32.



In Fig. 30 sind die besprochenen Verhältnisse graphisch dargestellt. Die Gesichtslinien beider Augen convergiren nach einem 12″ entfernten Punkte. Auf der Linie AB ist, wie wir wissen, das Accommodationsgebiet aufgetragen und von ∞ bis 2″ in 12 gleiche Theile (jeder derselben = $^1/_{24}$ Linse) geschieden. Die ausgezogene Linie de zeigt uns die Grösse der Accommodationsbreite für die Convergenz von 12″. Es kann, wie wir sahen, hiebei eine Accommodationsschwankung von 24 bis 6″ ausgeführt werden, diese umfasst, wie direct aus der Zeichnung ersichtlich, 3 Accommodationsspatia, ist also gleich $^3/_{24} = ^1/_8$. Die Accommodationsbreite aber, welche den Augen bei einer bestimmten Convergenz zukommt, ist die relative Accommodationsbreite. Wir haben demnach den Werth derselben für eine Convergenz von 12″ jetzt beispielsweise kennen gelernt, und werden später sehen, in welcher Weise sie je nach der Convergenz variirt. Noch ist Folgendes anzuführen: Donders, dem wir die genauere Kenntniss der relativen Accommodationsbreiten, so wie so unendlich Vieles auf unserem Gebiete verdanken und nach welchem wir die relative Accommodationsbreite mit $\frac{1}{A_1}$ bezeichnen, macht auf die zwei Theile aufmerksam, aus denen $\frac{1}{A_1}$ znsammengesetzt ist. Der eine Theil liegt in unserer Zeichnung unter, der andere über dem Convergenzpunkte. Der erstere zeigt uns an, welche Accommodation dem Auge noch bei der gegebenen Convergenz zu Gebote steht, letzterer hingegen, um wie viel mit der Accommodationsanstrengung nachgelassen werden kann, der erstere ist der positive, letzterer der negative Theil der relativen Accommodationsbreite. In unserem Falle beträgt der positive Theil $^1/_{12}$, er ist doppelt so gross wie der negative $^1/_{24}$, die ganze relative Accommodationsbreite für die Convergenz von 12″

$$\frac{1}{A_1} = \frac{1}{8} = \overset{(+)}{\frac{1}{12}} + \overset{(-)}{\frac{1}{24}}.$$

Stellen wir zum Schlusse die Ausdrücke für die Accommodationsbreiten zur Uebersicht zusammen, so erhalten wir für die von uns besprochenen Fälle:

Digitized by Google

Absolute Accommodationsbreite: $\frac{1}{A} = \frac{1}{3\frac{3}{4}}$

Binoculäre „ : $\frac{1}{A_2} = \frac{1}{4}$

Relative (Convergenz von 12″): $\frac{1}{A_1} = \frac{1}{8}$

Wir schreiten nun zur Beantwortung der wichtigen Frage, in welcher Art und Weise wir die Accommodationsbreiten ganz allgemein bestimmen können. Da gibt es zunächst, neue Begriffe und für diese geeignete Ausdrucksweisen in den Kreis unserer Betrachtungen zu ziehen. Wir sind bisher von der Annahme ausgegangen, dass die Refraction der untersuchten Augen eine normale sei, d. h. dass die Augen vermöge ihres Baues parallele Strahlen auf der Netzhaut zur Vereinigung bringen. Nach welchen zwei Richtungen hin das Auge in dieser Hinsicht abweichen könne, haben wir bei Gelegenheit der Begriffsbestimmung des Wortes: Refractionsanomalie in der dritten Vorlesung [1]) bereits angedeutet und müssen darauf jetzt näher eingehen.

Ein Auge mit normaler Refraction besitze eine absolute Accommodationsbreite $^1/_4$. Da die von jedem einzelnen Punkte eines unendlich fernen Objectes ausgehenden Strahlen als parallel betrachtet werden können, so wird ein solches Auge in der unendlichen Entfernung und vermöge seiner Accommodationsbreite in allen endlichen Entfernungen bis zu jener von 4″ deutlich sehen. Es wird ein solches Auge, wie wir schon früher einmal erwähnten, jenen Anforderungen entsprechen, die wir an ein Auge billiger Weise zu stellen vermögen, es ist ein in Betreff seiner Refraction normalgebautes, ein in richtigem Masse sehendes. Diese letztere Eigenschaft hat Donders durch das allgemein acceptirte Wort: emmetropisch (ἐν, μέτρον, ὤψ) characterisirt.

Jedes Auge, das nicht emmetropisch ist, wird nach Donders als ametropisch, als nicht in richtigem Masse sehend betrachtet, und da die eigentlichen Refractionsanomalien (chromatische und monochromatische Aberration) mit dem Masse, mit der Raumstrecke, in welcher ein Auge deutliche Wahrnehmungen empfängt, Nichts zu thun haben, so besteht die Ametropie nur darin, dass parallele Strahlen entweder vor oder hinter der Netzhaut zur Vereinigung kommen. In ersterem Falle wird, wie wir sahen [2]), das Auge kurz-, im letzteren übersichtig.

---

[1]) Pag. 41.
[2]) Pag. 41.

Digitized by Google

Mit den beiden Arten der Ametropie haben wir uns jetzt insoweit zu beschäftigen, als es nöthig ist, ein vollkommen klares Bild von der Lehre der Accommodationsbreite zu erlangen.

Bei Kurzsichtigkeit liegt der Fernpunkt des Auges in irgend einer endlichen Entfernung, er liege z. B. in einer solchen von 12″. Repräsentirt mir eine Convexlinse, durch deren Brennpunkt die Netzhaut geht, ein emmetropisches Auge und setze ich vor diese Linse eine zweite von 12″ Focaldistanz, so wird jetzt, wie wir dies bereits wissen [1]), ein 12″ davor gelegener Leuchtpunkt sein Bild auf der Netzhaut finden, da die von ihm ausgehenden Strahlen durch die Linse $^1/_{12}$ parallel gemacht werden. Wir können uns also eine Myopie mit einem Fernpunktsabstande von 12″ dadurch entstanden denken, das das dioptrische System des Auges vermöge seines Baues im Vergleiche mit dem emmetropischen Auge eine Linse $^1/_{12}$ zu viel hat. Wir können uns also die Myopie für unseren Zweck als eine Refractionsanomalie u. zwar als eine positive Refractionsanomalie darstellen, welche wir durch den Werth jener Linse ausdrücken, die vor das als eine ideale Linse gedachte dioptrische System des Auges gesetzt bewirkt, dass die aus dem Fernpunkte fahrenden Strahlen auf der Retina sich sammeln. Eine Myopie, bei welcher der Fernpunkt in 12″ liegt, müsste demnach bezeichnet werden als Refractionsanomalie: $+ {}^1/_{12}$. Statt des Pluszeichens, (das übrigens wie jedes derartige Pluszeichen auch weggelassen werden könnte), setzt man den Buchstaben M (Myopie), man schreibt also $M\frac{1}{12}$. (Consequenter wäre es, $\frac{1}{M}$ zu schreiben, wenn man die Accommodationsbreite mit $\frac{1}{A}$ bezeichnet).

Denken wir uns andererseits eine Linse $^1/_3$ und in ihrem Brennpunkte einen Schirm errichtet, wobei also Linse und Schirm in jenem richtigen Abstande sich befinden, in welchem dioptrisches System und Netzhaut im emmetropischen Auge stehen, so dass parallele Strahlen auf dem Schirme ihre Vereinigung finden, und trennen wir hierauf von der Linse $^1/_3$ eine Linse $^1/_{12}$ ab, die wir entfernen, dann ist der Werth der noch bleibenden Linse $^1/_4$, da $^1/_{12} + {}^1/_4 = {}^1/_3$. Parallele Strahlen werden jetzt nicht auf dem Schirme, sondern hinter demselben gesammelt. Das Wesen der Uebersichtigkeit, Hypermetropie, ist gleichfalls dadurch characterisirt, dass parallele Strahlen erst hinter der Netzhaut ihre Vereinigung finden. Wir können uns für unsere jetzigen Zwecke die Hypermetropie in ähnlicher Weise, wie die Myopie entstanden denken,

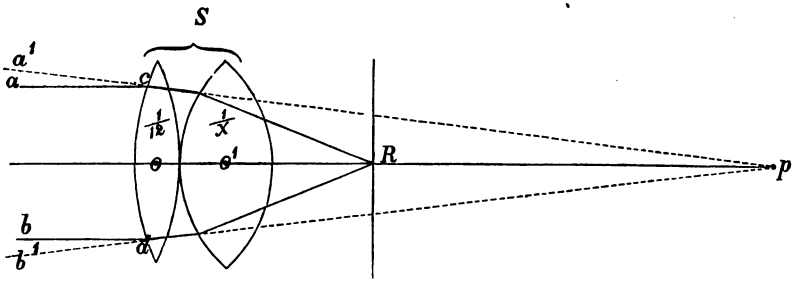
[1]) S. Pag. 17.

Digitized by Google

dadurch nämlich, dass jener Linse, die uns das System des Normal-Auges repräsentirt, irgend eine Linse fehlt. Die Hypermetropie kann demnach durch den Werth der fehlenden Linse ausgedrückt werden. Bezeichnet man die Myopie als eine positive Refractionsanomalie, so ist die Hypermetropie als eine negative Anomalie des Brechzustandes anzusehen. In dem Falle, als dem System des Normalauges z. B. eine Linse $^1/_{12}$ fehlt, wird man also von einer Refractionsanomalie: $-\,^1/_{12}$ zu sprechen haben. Statt der Negation schreibt man den Buchstaben H (Hypermetropie), $\left(\text{folgerichtiger wäre } \frac{1}{H}\right)$, demnach $H^1/_{12}$.

Wo liegt der Fernpunkt bei der Hypermetropie? Bei Emmetropie liegt er in der Unendlichkeit, bei Myopie an irgend einer Stelle vor dem Auge, es bleibt ihm also nichts Anderes übrig, als bei Hypermetropie hinter dem Auge seinen Platz einzunehmen. Dort befindet er sich auch, doch wie ist dies zu verstehen? S sei (Fig. 33) das dioptri-

Fig. 33.



sche System des emmetropischen Auges, R die Netzhaut. Die Linse, welche uns das System des Auges darstellt, denken wir uns zerlegt in 2 Linsen, von denen die eine $= {}^1/_{12}$, die andere von einer Brechkraft $^1/x$ ist, so dass die Linsensumme: $^1/_{12} + {}^1/x$ die parallelen Strahlen $a\,c$ und $b\,d$ in R vereinigt. Betrachten wir die Wirkung jeder dieser Linsen etwas genauer. Die Linse $^1/_{12}$, auf welche die Strahlen zunächst fallen, bewirkt, dass dieselben nach dem Linsenbrennpunkte, also nach einem 12″ hinter dem Linsencentrum o gelegenen Punkte p convergiren. Die so convergenten Strahlen fallen auf die Linse $^1/x$ und die Aufgabe dieser Linse muss es dann sein, die Strahlen noch stärker convergent zu machen, so dass sie in R sich sammeln, falls das Linsensystem die Aufgabe des emmetropischen Auges erfüllen soll. Nun nehmen wir dem Linsensysteme dieses emmetropischen Auges die Linse $^1/_{12}$ weg, dann haben wir das Auge in ein solches mit $H^1/_{12}$ verwandelt. Welche Strahlen wird dieses Auge, dessen System jetzt durch $^1/x$ allein dargestellt

Digitized by Google

wird, auf seiner Netzhaut einigen? Offenbar solche, welche die Richtung der Strahlen a^1cp und b^1dp haben, d. h. so convergent auffallen, dass sie sich, wenn $^1/x$ nicht da wäre, in p d. i. 12" hinter dem Centrum o^1 der Linse $^1/x$ (wir wollen den Abstand der Punkte o und o^1 vernachlässigen) durchkreuzen würden. Bei $H^1/_{12}$ liegt also der Leuchtpunkt, dessen Strahlen auf der Netzhaut zur Vereinigung kommen, gleichsam 12" hinter dem optischen Centrum des Auges, und sowie wir durch den Ausdruck $M^1/_{12}$ kennzeichnen, dass ein mit diesem Refractionszustande behaftetes Auge vermöge seiner Refraction nur Strahlen auf der Retina sammeln könne, die 12" vor dem optischen Augencentrum, von einem Punkte ausgehen, so besagt uns der Ausdruck $H^1/_{12}$, dass ein diesen Grad der Hypermetropie zeigendes Auge, falls es keine Accommodation besässe, nur mit solchen Strahlen deutlich sehen könnte, die so convergent auf dasselbe auffallen, dass sie sich, wenn das dioptrische System des Auges unwirksam wäre, 12" hinter dessen optischen Centrum einigen würden. Indem wir die Myopie und Hypermetropie durch Linsenwerthe ausdrücken, geben wir auch gleichzeitig die Lage des Fernpunktes bei diesen optischen Fehlern des Auges an.

Die Definition des Wesens der Myopie und Hypermetropie war nöthig, um die Lehre von der Accommodationsbreite von einem allgemeinen Gesichtspunkte aufzufassen. Es wäre nicht unbegreiflich, wenn der Bau des Auges auf den Bau und die Wirksamkeit des Accommodationsmuskels keinen unmittelbaren Einfluss nehmen würde. Es würde dann ein myopisches und hypermetropisches Auge die gleiche Accommodationsbreite, wie ein emmetropisches, darbieten können. Sehen wir, wie sich dieselbe im ametropischen Auge manifestirt. Wir haben früher für ein emmetropisches Auge eine absolute Accommodationbreite $^1/_4$ angenommen. Ein Auge mit $M^1/_{12}$ besitze dieselbe Accommodationsgrösse. Ein derartiges Auge hat zunächst vermöge seines Baues eine Linse $^1/_{12}$ mehr, als die ideale Linse des emmetropischen Auges. Zu dieser durch seine Refraction ihm zukommenden Linse kann es sich durch Accommodation noch eine Linse $^1/_4$ zulegen. Wenn es also seinen Accommodationsmuskel auf's Aeusserste spannt, hat es die Linsensumme: $^1/_{12} + {}^1/_4 = {}^1/_3$ mehr, als das emmetropische Auge. Würde ich die Accommodationsbreite in dem angeführten Falle nicht kennen, so könnte ich sie bestimmen, wenn ich in die letzte Gleichung für die bekannte Grösse $^1/_4$ eine unbekannte

$$\frac{1}{A} \text{ einführe, dann ist: } {}^1/_{12} + \frac{1}{A} = {}^1/_3 \text{ und } \frac{1}{A} = {}^1/_3 - {}^1/_{12}.$$

Digitized by Google

Die Berechtigung dieser Gleichung liegt am Tage. Wenn ich von jener Linse (in unserem Falle $^1/_3$), welche das Auge in toto mehr hat, als das emmetropische und die ich allgemein als $\frac{1}{P}$ bezeichnen will, jene Linse: $\frac{1}{R}$ ($^1/_{12}$) wegnehme, welche es vermöge seiner Refraction zu viel hat, so bleibt mir jene Linse übrig, die es sich durch seine Accommodation zulegen kann, und dies ist eben die absolute Accommodationsbreite: $\frac{1}{A}$. Ich erhalte demnach für $\frac{1}{A}$ den für Myopie zunächst giltigen Ausdruck:

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{P} - \frac{1}{R}.$$

In welcher Weise können wir aber die Linsen $\frac{1}{P}$ und $\frac{1}{R}$ bestimmen? Ist $^1/_3$ jene Linsensumme, die uns $\frac{1}{P}$ repräsentirt, dann liegt der Nahepunkt des betreffenden Auges natürlicher Weise in 3″, ist $\frac{1}{R} = {}^1/_{12}$, dann besteht M$^1/_{12}$, d. i. es liegt der Fernpunkt in 12″. Die Werthe von $\frac{1}{P}$ und $\frac{1}{R}$ sind demnach gegeben, wenn die Lage des Nahe- und Fernpunktes, p und r, des betreffenden Auges bekannt sind, und die aufgestellte Formel lehrt uns daher zunächst für ein myopisches Auge: Man erhält den Ausdruck für die absolute Accommodationsbreite, wenn man vom reciproken Werthe des Nahepunktabstandes $\frac{1}{P}$ den des Fernpunktabstandes $\frac{1}{R}$ subtrahirt.

Es handelt sich jetzt darum, die für Myopie gewonnene Formel zu verallgemeinern, auch für Hyper- und Emmetropie deren Richtigkeit zu beweisen. Es besässe ein Auge Hypermetropie $^1/_{12}$ und wiederum eine Accommodationsbreite $^1/_4$. Wenn dasselbe seinen Accommodationsapparat bis zu einem gewissen Grade in Bewegung gesetzt hat, wird es sich durch Accommodation eine Linse $^1/_{12}$ zugelegt haben. In diesem Moment hat es seinen angebornen Linsendefect gedeckt, ist einem emmetropischen Auge gleichartig und sieht deutlich in die Unendlichkeit. Jene Linse, welche ihm noch zur weiteren Verfügung steht, ist (wenn $\frac{1}{A} = {}^1/_4$), $= {}^1/_4$

Digitized by Google

$- {}^1/_{12} = {}^1/_6$. Das Auge kann sich demnach, nachdem es seine Anomalie neutralisirt hat, noch weiter eine Linse $^1/_6$ zulegen, kann demnach noch in einer Distanz von 6" deutlich sehen. Es ist daher in diesem Falle $\frac{1}{A} = {}^1/_4 = {}^1/_6 + {}^1/_{12}$.

Denselben Ausdruck nun erhalten wir, wenn wir die Accommodationsbreite nach der allgemeinen Formel $\frac{1}{A} = \frac{1}{P} - \frac{1}{R}$, wobei P den Nahe- und R den Fernpunktabstand bedeutet, bestimmen. Da das Auge zu jener Linsensumme, welche das emmetropische Auge repräsentirt, nur noch eine Linse $^1/_6$ fügen kann, so liegt sein Nahepunkt in 6", sein Fernpunkt ist, da $H^1/_{12}$ besteht, 12" hinter dem optischen Augencentrum, d. i. in — 12" gelegen, wenn wir die vor dem Auge befindlichen Abstände als positiv bezeichnen. Wir erhalten nach der oben angeführten Formel in unserem Falle $\frac{1}{A} = {}^1/_6 - (- {}^1/_{12}) = {}^1/_6 + {}^1/_{12} = {}^1/_4$ und haben demnach nach derselben die Accommodationsbreite richtig berechnet.

Das emmetropische Auge endlich können wir unter dem gleichen Gesichtspunkte betrachten. Es besitze ein solches wieder $\frac{1}{A} = {}^1/_4$. Wir erhalten die Accommodationsbreite, wenn wir von jener Linse, welche das Auge im Zustande der stärksten Accommodation mehr hat, als das emmetropische im Zustande der Ruhe, jene Linse wegnehmen, um die es vermöge seines Baues die Linse des emmetropischen Auges übertrifft. Wir erhalten, wenn wir diesen bei Betrachtung des myopischen Auges gewonnenen Satz etwas spitzfindig auf das emmetropische Auge selbst anwenden, in dem gegebenen Falle folgenden Ausdruck für die Accommodationsbreite. $^1/_4$ ist die Linse, welche das accommodirende Auge in toto mehr hat, als das ruhende emmetropische. Von dieser Linse $^1/_4$ müssen wir jene wegnehmen, welche es vermöge seines Baues zu viel hat. Das emmetropische Auge hat aber keine Linse zu viel, oder was das Gleiche ist, eine Linse von unendlicher Brennweite, deren Brechkraft $\frac{1}{\infty} = o$ ist. Demnach ist: $\frac{1}{A} = {}^1/_4 = {}^1/_4 - \frac{1}{\infty}$; bestimmen wir die Accommodationsbreite nach der Nahepunkt- und Fernpunkt-Formel, so erhalten wir, da P = 4" und R = ∞, den nämlichen Ausdruck.

Digitized by Google

Wir können demnach die absolute Accommodationsbreite beim emmetropischen und ametropischen Auge nach der Formel $\frac{1}{A} = \frac{1}{P} - \frac{1}{R}$ feststellen.

Bezeichnen wir den binoculären Nahepunktabstand mit P_2 und den binoculären Fernpunktabstand mit R_2, so erhalten wir in ganz analoger Weise für die binoculäre Accommodationsbreite:

$$\frac{1}{A_2} = \frac{1}{P_2} - \frac{1}{R_2}.$$

Ist endlich P_1 der Abstand des (relativen) Nahepunktes p_1, R_1 jener des (relativen) Fernpunktes r_1 für eine bestimmte Gesichtslinienconvergenz, dann ist die relative Accommodationsbreite:

$$\frac{1}{A_1} = \frac{1}{P_1} - \frac{1}{R_1}.$$

Bestimmen wir nach diesen Formeln die Werthe von $\frac{1}{A}$, $\frac{1}{A_2}$ und $\frac{1}{A_1}$ in den früher angenommenen Fällen, so erhalten wir:

$\frac{1}{A} = \frac{1}{3^3/_4} - \frac{1}{\infty} = \frac{1}{3^3/_4}$, da $P = 3^3/_4''$, $R = \infty$

$\frac{1}{A_2} = \frac{1}{4} - \frac{1}{\infty} = \frac{1}{4}$, da $P_2 = 4$, $R_2 = \infty$ (der Fernpunkt liegt nämlich in der Unendlichkeit, sowohl für den Fall, dass ein Emmetrop mit Einem als auch für den, dass er mit beiden Augen in die Ferne sieht.)

Die relative Accommodationsbreite anlangend, so liegt für die Convergenz von 12″ p_1 in 6″, r_1 in 24″, daher: $\frac{1}{A_1} = 1/6 - 1/24 = 1/8$.

Wenn wir den positiven Theil von $\frac{1}{A_1}$, den wir mit $\frac{1}{a_1}$ bezeichnen wollen, allein in Betracht ziehen, so ist hierbei der Nahepunkt in 6″, der Fernpunkt in 12″, daher:

$$\frac{1}{a_1} = 1/6 - 1/12 = 1/12.$$

Für den negativen Theil, $\frac{1}{a_2}$, ist in 12″ der Nahe-, in 24″ der Fernpunkt, daher:

$$\frac{1}{a_2} = 1/12 - 1/24 = 1/24.$$

Die nach den Formeln gewonnenen Resultate stimmen mit den früher auf andere Weise erzielten Werthen.

Digitized by Google

Sechste Vorlesung.

Brillenlehre.

Bestimmung des Fern- und Nahepunktes! Dies wäre eigentlich die Forderung, die an uns, meine Herren! jetzt herantreten sollte; ist dies doch das nächste Ziel der Bestrebungen bei den als Myopie und Hypermetropie bezeichneten sogenannten Refractionsanomalien. Mit der Ergründung des absoluten Fernpunktes ist uns ja die Refraction des Auges gegeben, und fügen wir die Kenntniss des absoluten Nahepunktes dazu, dann besitzen wir auch den Einblick in die Grösse jener Kraft, die die Refraction des Auges zu ändern vermag, durch die Kenntniss der absoluten Accommodationsbreite. Allein bis wir wirklich uns mit Erfolg an die Lösung dieser Aufgabe machen können, hat es noch seine guten Wege.

Mit Erfolg können wir das vorgesteckte Ziel erst dann erreichen, wenn wir zuvor eine Reihe von Fragen in Betreff der sphärischen Gläser und der Sehschärfe des Auges erörtert haben.

Ich will Sie in ersterer Hinsicht nicht mit der Thatsache überraschen, dass es unter den sphärischen Gläsern convexe und concave gibt, auch will ich mich nicht so stellen, als ob Sie noch nie gehört hätten, dass man unter den Convexgläsern planconvexe, biconvexe und concavconvexe und in analoger Weise unter den Concavgläsern planconcave, biconcave und convexconcave unterscheide: aber was ich beabsichtige, das ist über die physikalische Wirkung der Gläser und manches andere hierher Gehörige zu sprechen.

Wir betrachten die Wirkung der sphärischen Gläser insoferne, als wir dieselben mit dem dioptrischen System des Auges combiniren. Nur insoweit interessirt uns die Sache hier. Und da lässt sich denn der Effect sphärischer Gläser in sehr einfacher Weise definiren. Vor das Auge gesetzte Convexgläser vermehren begreiflicher Weise die Brechkraft des Auges und bewirken, richtig gewählt, dass Strahlen, die ohne Intervention des Glases, erst hinter der Netzhaut sich vereinigen würden, nunmehr auf der percipirenden Retinalschichte sich sammeln, während Concavgläser die Brechkraft des Auges verringern, (indem durch dieselben gleichsam dem dioptrischen System des Auges eine Convexlinse weggenommen wird), die Spitze des durch das Sammelsystem des Auges formirten Strahlenkegels hiedurch nach rückwärts gerückt und bei einer bestimmten Zerstreuungsweite des Glases auf die

Digitized by Google

Netzhaut geworfen wird, falls ohne Glas-Anwendung der Vereinigungspunkt des in Rede stehenden Strahlenbündels vor der Netzhaut lag.

Man kann sich auch anders ausdrücken, und zwar am besten mit jenen Worten, mit welchen Kepler der Erste die Wirkungsweise der sphärischen Gläser richtig erklärte und die in seinen „Ad Vitellionem Paraliponem Cap. V. 4. in der berühmten Propositio XXVIII" enthalten sind. Sie lauten in deutscher Uebersetzung: „Man darf nicht die Objecte im Ganzen, sondern man muss vielmehr die einzelnen Punkte derselben in Betracht ziehen. Diejenigen nun, welche nur einen entfernten Punkt deutlich sehen können, werden, indem sie sich convexer Gläser bedienen, den Strahlenkegel eines nahegelegenen Punktes so abändern, als ob er von einem entfernten Punkte kommend in das Auge einträte. So wird der Gang des Strahlenkegels corrigirt, der ja auf der Netzhaut endigen soll. Würde nämlich sein Verlauf nicht durch Gläser verbessert, so würde es geschehen, dass derselbe wegen der Nähe des leuchtenden Punktes erst hinter der Netzhaut endigen und so von der Netzhaut geschnitten würde. Die den einzelnen leuchtenden Punkten angehörenden Strahlenkegel würden daher auf der Netzhaut eine gewisse Breite darbieten und dadurch sich gegenseitig decken und verwirren.

Andererseits werden Diejenigen, denen von Natur aus nur ein nahe gelegenes Object deutlich zu sehen vergönnt ist, durch den Gebrauch von Concavgläsern den Gang der von einem entfernten Punkte kommenden Strahlen so abändern, dass es den Anschein hat, als ob diese Strahlen von einem nahegelegenen Punkte ausfahren und von diesem in das Auge gelangen würden.

Wenn derartige Individuen keine Gläser in Anwendung ziehen, dann wird der Strahlenkegel des entfernten Punktes, noch ehe er die Netzhaut erreicht, endigen, hierauf, indem seine Strahlen weiter schreiten, sich wieder verbreiten und auf diese Weise mit einem gewissen Durchmesser auf die Netzhaut fallen. Die Folge hiervon wird sein, dass die einzelnen Kegel auf der Netzhaut sich gegenseitig stören und vermischen."

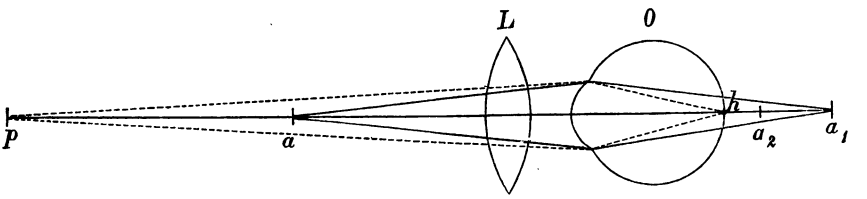
Durch einige Zeichnungen können wir uns die Wirkungsweise sphärischer Gläser noch deutlicher machen.

Das Auge O (Fig. 34) kann vom Punkte a kein deutliches Bild auf der Netzhaut entwerfen, weil sein dioptrisches System für diesen Zweck zu schwach brechend ist, das Bild des Punktes a liegt hinter der Netzhaut in a_1. Ich bringe vor das Auge eine Convexlinse L, ihre Brechkraft summirt sich mit jener des Auges; es ist klar, dass sofort das Bild von a gegen die Netzhaut etwa nach a_2 rücken und bei einer bestimmten Brechkraft von L endlich auf die Netzhaut nach h fallen wird.

Digitized by Google

Der früher undeutlich, weil in einem Zerstreuungskreise gesehene Punkt erscheint mit Hilfe des Convexglases nun scharf und deutlich. Oder

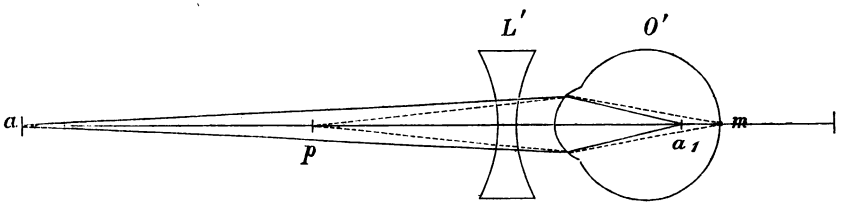
Fig. 34.



nach Kepler: Wenn gleich das Auge O vom Punkte a kein deutliches Bild entwerfen kann, so wird es doch in jedem Falle die Strahlen irgend eines weiter entfernten (in positiver Endlichkeit oder Unendlichkeit oder in negativer Endlichkeit) gelegenen Punktes auf seiner Netzhaut sammeln können. Der nächste Punkt z. B. von dem das Auge ein deutliches Bild entwerfen kann, wäre p. Der Punkt a wird dann auch deutlich gesehen werden, wenn die von ihm ausgehenden Strahlen eine solche Richtung erlangen, als ob sie von p herkämen. Dies kann durch eine Convexlinse geschehen. Sie sammelt die von a kommenden Strahlen, d. h. die letzteren sind nach ihrem Austritte aus der Linse weniger divergent; bei einer bestimmten Stärke der Convexlinse, werden die Strahlen nach ihrem Durchgange durch die Linse Richtungen annehmen, welche nach rückwärts verlängert sich in p durchschneiden. Die von a kommenden Strahlen, welche nunmehr die Richtung der von p ausfahrenden darbieten, werden demnach auf der Netzhaut sich sammeln, a wird mittelst L deutlich gesehen.

Ist dagegen (Fig. 35) O' ein Auge welches die von a kommenden Strahlen nicht auf der Netzhaut zu vereinigen vermag, in welchem

Fig. 35.



dieselben vielmehr schon vor der Netzhaut in a_1 sich durchkreuzen, dann wird es, um deren Vereinigung in m zu erzielen, nothwendig sein,

Digitized by Google

das dioptrische System des Auges zu schwächen. So wie wir jetzt eine Concavlinse L' vor das Auge bringen, wird eine entsprechende Sammellinse dem dioptrischen System des Auges entzogen, dasselbe wird schwächer brechend, der Vereinigungspunkt der von a kommenden Strahlen rückt zurück, und fällt bei einer bestimmten Zerstreungsweite von L' nach m. Oder nach Kepler: Kann auch das Auge O' nicht die a-Strahlen in m vereinigen, so wird doch, indem ich den Leuchtpunkt dem Auge nähere, dessen Bild nach rückwärts gegen die Netzhaut rücken, und endlich bei einem bestimmten Abstande, etwa wenn a nach p gerückt ist, nach m fallen. Wenn es gelingt, den von a kommenden Strahlen eine solche Richtung zu geben, als ob sie von p herkämen, dann wird auch a deutlich erscheinen. Concavgläser zerstreuen das Licht, d. h. sie verringern die Convergenz auffallender Strahlen. Bei einer gewissen Brennweite der Linse L' werden die a-Strahlen nach ihrem Durchtritte durch die Linse Richtungen nehmen, welche nach rückwärts verlängert sich in p treffen.

Die a Strahlen haben jetzt die Richtung der p Strahlen, mithin wird das Bild von a jetzt nach m fallen, a wird mit Hilfe eines Concavglases deutlich gesehen.

Wenn wir mit sphärischen Gläsern hantiren, ist natürlich das erste Postulat, dass wir wissen, welches die Stärke, die Brechkraft, und da diese durch den reciproken Werth der Brennweite ausgedrückt wird, welches die Brennweite der Gläser sei. Dass die Entfernung jenes Punktes, in welchem parallel auf eine Convexlinse auffallende Strahlen hinter der Linse sich sammeln, vom optischen Mittelpunkte der Linse die Brennweite der letzteren sei und als positiv betrachtet wird, brauche ich Ihnen, meine Herren, kaum in Erinnerung zu bringen. Die Brennweite concaver Gläser ist eine negative, der nicht reelle, sondern virtuelle mit den einfallenden Strahlen auf derselben Linsenseite gelegene Brennpunkt ist jener, in welchem die Richtungen, welche parallel auf die Linse aufgefallene Strahlen nach ihrem Durchgange durch die letztere einschlagen, nach rückwärts verlängert sich kreuzen. Werden z. B. parallele Strahlen durch eine Concavlinse so divergent gemacht, dass diese nun divergenten Strahlen, nach rückwärts verlängert, sich in einem Punkte durchschneiden, der 7″ vor dem optischen Linsencentrum liegt, dann sagt man, diese Concavlinse habe eine Brennweite oder Zerstreuungsweite von 7″ oder diese Linse habe eine negative Brennweite von 7″.

Welche Brennweite legt man jenen Gläsern zu Grunde, welche man als sogenannte Probebrillen bei der Correction der optischen

Digitized by Google

Fehler des Auges verwendet? Die Antwort lautet: In der Regel jene, welche auf den Gläsern notirt ist. Ich hebe, meine Herren, ein Convexglas aus dem Brillenkasten, es trägt die Nummer 4. Dass dies ein Glas von 4 Zoll B. W. sei, nimmt man an, sowie man der Ziffer 4 auf demselben ansichtig wird. Die erste Anfrage aber, die man sich erlauben muss, ist: Nach welchem Zollmass ist die Brennweite gemessen? Denn es gibt einen Wiener, Pariser und englischen, es gibt einen preussischen Zoll und ausser diesem in Deutschland mehr als ein Dutzend andere verschiedene Zollmasse, die allerdings durch Deutschlands Einigung allmählig verschwinden werden.

Die Gläser werden in der That nach den verschiedensten Zollmassen geschliffen. Betrachten wir die wichtigeren der letzteren. Es ist 1 Wiener Zoll = 0·973 Pariser = 1·007 preuss. = 1·037 engl. Zoll.

Dieses Convexglas $^1/_4$, dessen Ziffer Wiener Zoll bedeuten, ist gleich

$$\frac{1}{3{\cdot}9} \text{ (Paris. Mass)} = \frac{1}{4{\cdot}03} \text{ (preuss. Mass)} = \frac{1}{4{\cdot}15} \text{ englisch.}$$

Sie sehen, meine Herren, dass diese Masse nur wenig unter einander differiren, dass man die Differenzen bei Gläsern grosser Brennweite fast gänzlich vernachlässigen kann, und dass sie selbst bei starken Gläsern nicht nennenswerth ausfallen. Nur mögen Sie sich im Gedächtnisse behalten, dass da der Pariser Zoll der grösste, die nach Pariser Mass numerirten Gläser die schwächsten sind, die Gläser mit Wiener, preussischem und englischem Masse sich der Reihe nach anschliessen. Jedoch dass vom scrupulös wissenschaftlichen, wenn auch nicht vom praktischen Standpunkte aus eine gewisse Ungenauigkeit durch diese verschiedenen Masseinheiten in den ganzen Gegenstand, den wir behandeln, sich einschleicht, indem die von verschiedenen Autoren gemachten numerischen Angaben nicht direct vergleichbar sind, falls das Mass, welchem die Ziffern angehören, nicht ersichtlich; indem ferner die nach einem bestimmten Masse ausgesuchten Brillen nicht genau nach Vorschrift ausfallen werden, falls — caeteris paribus — der Optiker nach anderem Masse geschliffene Gläser verabreicht, lässt sich nicht läugnen. Daraus folgt, dass um allzu ängstliche Gemüther zu beruhigen, das erste pium desiderium in Betreff unserer Brillengläser wäre: Es mögen dieselben sämmtlich nach demselben Längenmasse geschliffen werden. Ob hiefür, wie Donders wünscht, der Pariser, oder aber der Wiener oder der preussische oder englische Zoll oder endlich das Metermass gewählt wird, ist ziemlich gleichgiltig. Auf diesen letzteren Punkt müssen wir später noch einmal zurückkommen, jetzt gehen wir zu weiterer Fragestellung über.

Digitized by Google

Ist die Brennweite des Glases Convex 4 factisch zuerst vom Brillenschleifer oder Optiker gemessen worden, ehe man dem Glase die Nummer 4 einritzte? Die Antwort lautet: Nein. Es wird vielmehr in folgender Weise verfahren.

Ist F die Brennweite eines Convexglases, so wird dieselbe gefunden durch folgenden Ausdruck:

$$\frac{1}{F} = (n-1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right)$$

in welcher Gleichung n den Brechungsexponenten des Glases, aus dem die Linse gefertigt ist, R und r die Krümmungshalbmesser der beiden Linsenflächen bedeuten.

Für eine Biconvexlinse, deren beide Flächen mit demselben Radius $R = r$ geschliffen sind, wird $\frac{1}{F} = (n-1).\frac{2}{R}$ und ist der Brechungsexponent des verwendeten Glases $n = 1^1/_2$, dann ist $\frac{1}{F} = \frac{1}{2}.\frac{2}{R} = \frac{1}{R}$ und $F = R$, d. h. dieselbe Zahl, welche mir den Krümmungshalbmesser ausdrückt, gibt mir auch die Brennweite des Glases an. Da nun die Probebrillen biconvex, resp. biconcav, da ferner die Krümmungsradien beider Flächen gleich sind, so wäre es sehr richtig, wenn, wie es factisch geschieht, dem Glase der Werth des Radius als Brennweite eingeritzt würde, — falls nur der Brechungsexponent des Materiales wirklich $1^1/_2$ wäre. Er ist aber in der Regel grösser. Darauf hat Burow vor einigen Jahren (1865) schon hingewiesen. Der Brechungsexponent beträgt oft (statt 1·5) 1·53—1·54, im Mittel nach Burow 1·525, bisweilen selbst 1·56. So schreibt z. B. Gerold in seiner ophthalmologischen Physik, er besitze eine mit 4 signirte Convexlinse, deren Materiale einen Index 1·563 aufweist. Nehmen wir an, meine Herren, auch diese Linse 4, die ich in der Hand halte, wäre aus solchem Materiale gefertigt, dann wäre, obwohl der Krümmungshalbmesser ihrer Flächen 4″ ist, ihre Brennweite doch nicht 4, sondern es ergibt sich, da $\frac{1}{F} = (1{\cdot}563-1)\frac{2}{4} = \frac{0{\cdot}563}{2}$, der Werth von $F = \frac{2}{0{\cdot}563} = 3{\cdot}55$. Die Linse hätte dann also statt einer Brechkraft $^1/_4$ eine solche von $\frac{1}{3{\cdot}55}$, und es käme, da $\frac{1}{3{\cdot}55} - \frac{1}{4} = \frac{1}{31{\cdot}55}$, der Fehler einer Linse von $31^1/_2$″ B. W. gleich. Nun, aus so stark brechendem Glase sind die Brillen nur äusserst selten gefertigt und so bedeutend fällt also die Differenz auch bei starken Gläsern, wie Convex 4, selten aus, allein das

Digitized by Google

geht aus dem Gesagten hervor, dass die verwendeten Probebrillen durchgehends stärker sind, als die ihnen eingeritzte Nummer anzeigt. Es ist deshalb gut und löblich, wenn der Augenarzt den Nummern seiner Probebrillen nicht traut, und die Brennweite derselben sich selbst bestimmt — auf eine Art und Weise, die wir gleich kennen lernen werden — allein er muss die gewonnenen Resultate schön für sich behalten, und ja nicht zu Nutzen und Frommen seiner Clienten mit seinen wissenschaftlichen Errungenschaften herausrücken wollen. Er könnte wahrlich keinen grösseren Fehler begehen. Nehmen wir an, meine Herren, wir hätten eruirt, dass ein am grauen Staar Operirter mit diesem Convexglase $^1/_4$ am deutlichsten in die Ferne sieht, so werden wir zwar wissen, dass es eine Linse von $3^3/_4$" B. W. ist, welche seine Aphakie corrigirt, allein wir werden davon keinen weiteren Gebrauch machen, ihm vielmehr eine Brille $^1/_4$ präscribiren, weil ja nach dem Vorausgeschickten ein Glas von $3^3/_4$" B. W., wie es die Optiker verkaufen, einem stärkeren Glase entspricht und das Glas $^1/_4$ der Optiker ungefähr einem solchen von $3^3/_4$" B. W. gleich kommen dürfte. Da aber die Brechungsindices der verschiedenen Glassorten, aus denen Brillen gefertigt werden, verschieden sind, so wird die Brille nur selten und, wir möchten sagen, nur zufällig genau nach Vorschrift geliefert werden. Den zweiten Wunsch in Betreff der Brillengläser müssen wir demnach so formuliren: Es möge dahin gewirkt werden, dass das zur Brillenfabrikation gewählte Glas stets den gleichen Brechungsindex hat. Ist dieser bekannt, dann hat die unrichtige Numerirung des Glases nichts auf sich. Dieser Wunsch ist wohl so ziemlich unerfüllbar, es hat aber auch diese Sache eine sehr geringe praktische Bedeutung. Gerade bei starken Gläsern, wo der Fehler am grössten ist, kann er, wie wir sehen werden, durch eine geringe Verschiebung des Glases vor dem Auge corrigirt werden.

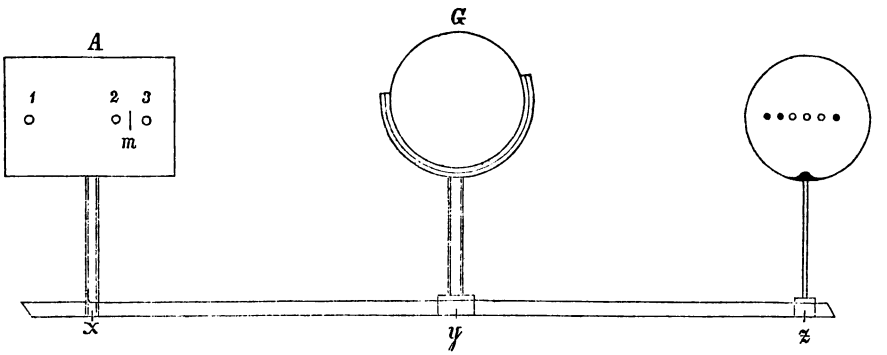
Wir sagten, dass es unsere Sache sei, die Brennweite unserer Probebrillen festzustellen, wenn wir gleich bei der praktischen Verwerthung dieses Wissens vorsichtig zu Werke gehen müssen. Wie kann dies geschehen? Es werden in dieser Beziehung für Convex- und Concavgläser verschiedene Methoden angegeben. Um die Brennweite eines Sammelglases zu bestimmen, entwirft man das umgekehrte Bild eines entfernten Objectes auf einem Schirme. Kann man die Sonne benützen, dann dient sie am besten dem Zwecke; sonst nimmt man das Bild einer Kerzenflamme (im dunklen Zimmer), jedoch muss diese gegen 20' von der Linse abstehen. Man schiebt die Linse so lange vom und gegen den Schirm, bis das Bild der Sonne oder der entfernten Kerzenflamme am schärfsten hervortritt, dann misst man den Abstand des

Digitized by Google

Bildes von dem Mittelpunkte der Linse (für dessen Lage der Linsenrand massgebend sein kann) mit einem Zollstab und die Bestimmung ist fertig. Bemerkt muss hierbei werden, dass für ganz schwache Convexgläser bei der Bestimmung der Brennweite im Tageslichte, wenn nicht die Sonne als Object dient, wegen der Grösse und Lichtschwäche der Bilder Schwierigkeiten entstehen, dass hierfür die Benützung einer entfernten Kerzenflamme im dunklen Raume vorzuziehen und, will diese ganze Bestimmung Anspruch auf Genauigkeit haben, es nothwendig ist, dass der Schirm am Ende eines genau getheilten, etwa mit Nonius versehenen Massstabes angebracht sei, auf welchem eine Brillenfassung (für die Aufnahme der zu prüfenden Gläser bestimmt) verschoben werden kann. Der Werth für die Brennweite ist dann direct am Massstabe abzulesen. Der Umstand, dass, wie wir gelegentlich sehen werden, bei den Concav-Convexgläsern der optische Mittelpunkt der Linse ausserhalb der Linse liegt, bewirkt, dass besagte Bestimmungsweise für Biconvexgläser, die übrigens immer die Probebrillen in dem Brillenkasten darstellen, genauer ausfällt, als für die Menisken, doch ein irgend nennenswerther Unterschied könnte nur bei sehr starken Gläsern, welche aber wiederum nicht in Meniskenform im Brauche sind, sich ergeben.

Donders, welchem genannte Methode zu ungenau dünkte, hat mit Hilfe einer sehr feinen Untersuchungsart die Gläser seines Brillenkastens auf ihre Focaldistanz geprüft — mit Hilfe des Ophthalmometers nämlich. Hinter der dünnen schwarzen Metallplatte *A* (Fig. 36), welche

Fig. 36.



drei Löcher, deren Mittelpunkte in einer horizontalen Linie liegen, enthält, steht eine Lampe. Der Abstand der Mitte des leuchtenden Loches 1 von dem Mittelpunkte *m* der die beiden Löcher 2 und 3 verbindenden Linie ist das mit dem Ophthalmometer zu messende Object.

Digitized by Google

es wird gemessen, indem man den Lichtpunkt 1 genau in die Mitte zwischen 2 und 3 stellt. Man begnügt sich diese Operation zu vollführen. Es gehört nicht zur Sache, die Anzahl Grade, um welche die Platten gedreht werden, am Instrumente abzulesen und daraus die wirkliche Grösse von *1m* zu bestimmen. Die Platte *A* befindet sich an dem einen Ende eines genau getheilten Massstabes, auf welchem ein für die Aufnahme des zu prüfenden Biconvexglases bestimmtes Gestell *G*, sowie ein Ring *R* verschiebbar angebracht ist. Die Mitte der Ringe *R* und *G*, sowie die Mitte des Objectes *1m* liegen in derselben Linie. Hat man die Ophthalmometerplatten so gestellt, dass 1 in der Mitte zwischen 2 und 3 steht, dann schiebt man das zu untersuchende Convexglas in das Gestell *G*, und entfernt dasselbe so weit von *A*, dass die Distanz beiläufig der doppelten Brennweite der Linse gleichkommt. Trägt z. B. die zu prüfende Linse die Ziffer 2 oder hat man sich durch die erst erwähnte Probe überzeugt, dass es sich um eine Linse von ungefähr 2″ B. W. handelt, dann macht man die Distanz *xy* gleich 4 Zoll, und schiebt auch den Ring *R* soweit von *G* ab, dass $yz=xy$ wird, in unserem Falle also wieder um 4 Zoll. Nun schiebt man das Ocular des Fernrohres so lange ein, bis der Ring *R* vollkommen deutlich erscheint. Innerhalb desselben gibt sich das Bild zu erkennen, welche die Linse von den Leuchtpunkten 1, 2, 3 entwirft. Dieses Bild wird genau so gross wie das Object sein, wenn *xy*, also auch *yz* genau der doppelten Brennweite des Glases entspricht. Da wir die Stellung der Ophthalmometerplatten nicht geändert haben, dieselben vielmehr in jener Lage sich finden, die zur Verschiebung des Objectes *1m* um seine eigene Grösse nöthig war, so wird, falls das Linsenbild dieselbe Grösse wie das Object hat, dasselbe gleichfalls genau um seine eigene Grösse verschoben erscheinen, d. h. es wird wieder der eine Lichtpunkt genau in der Mitte zwischen den beiden anderen stehen.

Wenn 1 noch ausserhalb der Leuchtpunkte steht, oder mit 2 zusammenfällt, oder zwar zwischen 2 und 3, aber näher an 2, als an 3 sich findet, dann ist das dioptrische Bild grösser, als das Object, *xy* kleiner als die doppelte Brennweite, dann muss *G* so lange gegen *R* hingeschoben werden, bis 1 genau in der Mitte zwischen 2 und 3 erscheint. Umgekehrt: Stünde 1 näher an 3 als an 2, fiele es mit 3 zusammen oder gar über 3 hinaus, dann wäre das durch die Linse entworfene Bild kleiner, als der Gegenstand, *xy* wäre grösser als die doppelte Brennweite, *G* müsste gegen *A* hingerückt werden, bis wiederum 1 in der Mitte zwischen 2 und 3 steht. Sowie dies erreicht ist, liest man die Distanz *xy*, für deren genaue Bestimmung am Fusse des Gestelles

Digitized by Google

G bei y ein Nonius angebracht ist, am Zollstab und Nonius ab und der Werth für die doppelte und somit auch für die einfache Brennweite der Biconvexlinse ist gefunden, weil nur dann, wenn das Object um die doppelte Brennweite von der Linse absteht, das Bild, das, jetzt gleichfalls um zwei Brennweiten entfernt, hinter der Linse liegt, dem Objecte an Grösse gleichkommt.

Die genannte Methode hat ausser ihrer Genauigkeit noch das Angenehme, dass man leicht den Brechungsindex des Glases, aus welchem die Linsen gefertigt sind, gleichzeitig bestimmen kann. Man bestimmt nämlich noch die Krümmung der beiden Linsenflächen mit Hilfe des Ophthalmometers genau nach demselben Principe, nach welchem die Krümmung der Hornhaut eruirt wird. Ist R und r, sowie F bekannt, dann findet man n, indem man sich der Gleichung: $\frac{1}{F} = (n-1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right)$ erinnert. Ist $R = r$, dann ist $n = \frac{R}{2F} + 1$, sind R und r differente Grössen, dann ist $n = \frac{Rr}{(R+r)F} + 1$.

Auf die von Donders angegebene Weise, oder wenn auch etwas weniger genau nach der gewöhnlichen, zuerst erwähnten Methode, lassen sich die Brennweiten der im Brillenkasten enthaltenen Convexgläser richtig stellen. Diese letzteren sind dann als Normalgläser zu betrachten.

Bei der tagtäglich an den Augenarzt herantretenden Forderung die Brennweite der Brillen, welche von den sich Rath holenden Individuen getragen werden, zu ergründen, kann derselbe begreiflicher Weise nicht mit dem Ophthalmometer heranrücken. Um ein vollkommen genaues Resultat handelt es sich dabei auch nicht. Man kann auf dreierlei Weise verfahren. Erstens durch Vergleichung der Brille mit den Normalgläsern. Donders nimmt als Probeobject zwei feine Parallellinien auf einem Blatt Papier. Er hält das zu prüfende Glas etwa einen Fuss vom Auge und in irgend einem Abstande von den Linien, in welchen dieselben deutlich erscheinen. Es ergibt sich dabei eine bestimmte Vergrösserung. Eines der dicht neben das zu prüfende Glas gestellten Normalgläser wird nach freiem Augenmasse die gleiche Vergrösserung zeigen. Die bekannte Brennweite dieses Glases ist auch jene des zu prüfenden.

Zweitens: Man hält die Brille gegen eine dem Fenster (welches allerdings nicht zu nahe befindlich sein darf) gegenüber liegende Wand oder Thüre und misst den Abstand des scharf sich ausprägenden Bildes des Fensterkreuzes von der Linse — das Experiment im Rohen, welches

Digitized by Google

feiner ausgeführt, wie wir sahen, zur genauen Bestimmung der Brennweite dienen kann.

Drittens: Man hält das Convexglas vor das eigene Auge und beurtheilt aus der durch dasselbe gesetzten Störung des Sehvermögens die Brennweite; dass hierzu Uebung gehört, ist klar. Ist der Untersucher z. B. emmetropisch, dann wird er durch Uebung dahin gelangen, zu erfahren, in welchem Grade das ihn kurzsichtig machende Convexglas je nach seiner Stärke die Sehschärfe für die Ferne herabsetzt. Doch da wir von der Bestimmung der Sehschärfe bisher nicht gehandelt, wollen wir auf diesen Punkt erst später bei Gelegenheit wieder einmal zurückkommen.

Um die Brennweite von Concavgläsern kennen zu lernen, hält man dieselben gegen Normalconvexgläser und bestimmt jenes Convexglas, welches die Wirkung des Concavglases vollständig paralysirt. Dies ist allerdings leichter gesagt als ausgeführt — wenn es sich um sehr genaue Bestimmungen handelt. Am besten macht es z. B. der Emmetrope noch so, dass er das Concavglas zunächst mit einem jedenfalls zu starken Convexglase combinirt, und durch diese Gläser-Combination in die Ferne blickend seine Kurzsichtigkeit und gleichzeitig die Herabsetzung seiner Sehschärfe constatirt. Nun wird der Reihe nach zu den schwächeren Convexgläsern geschritten und bei jenem Halt gemacht, welches zum Concavglase gefügt die Sehschärfe wieder zur normalen Höhe hebt. Die Probebuchstaben erscheinen zwar, weil an den Gläseroberflächen vielfache Lichtreflexionen stattfinden, etwas matt, grau, aber doch werden sie vollkommen als solche wie mit freiem Auge erkannt. Die Brennweite des jetzt vor dem Auge stehenden Convexglases ist auch die des ihm beigesellten Concavglases.

Eine andere Methode, welcher man viel Feinheit nachrühmt, ist folgende: Man fügt zum Hohlglase unbekannter Zerstreuungsweite eine Convexlinse von ungefähr gleicher Brennweite. Man sieht durch diese Conbination nach einem nahegelegenen Gegenstand. Bewegt man jetzt die Doppellinse, so wird, wenn derselben eine Sammelwirkung zukommt, das Object sich in entgegengesetzter, dagegen wird es sich in gleicher Richtung verschieben, wenn die Combination als Zerstreuungsglas wirksam ist. Das Object wird endlich, wenn die Doppellinse keine dioptrische Wirkung ausübt, gar nicht vom Platze weichen.

Dies letztere zu erreichen ist der Zweck der in Rede stehenden Methode, das neutralisirende Convexglas und folglich die gesuchte Brennweite des Concavglases ist damit aufgefunden. Am besten wählt man bei diesem Versuche eine gerade Linie zum Objecte. Hält man ein Convexglas in einiger Entfernung (bei nicht zu starken Gläsern

Digitized by Google

etwa in einer solchen von 3") vor die Linie, wobei das Auge 9—12" von der Linse absteht, und macht man nun eine Bewegung mit der Linse z. B. in der Richtung nach rechts, dann erscheint die Linie zerschnitten, das von der Linse gedeckte Stück ist (in Folge der prismatischen Wirkung des seitlichen Linsentheils) nach der entgegengesetzten Seite nach links herausgetreten. Nimmt man statt des convexen ein Concavglas, dann rückt das vom Glase gedeckte Stück der Linie mit dem Glase nach derselben Seite, weil die prismatische Wirkung jetzt eine der früheren entgegengesetzte ist.

Hierdurch ist man in der Lage sehr feine Verschiebungen des Objectes nachzuweisen; aber trotzdem erhält man durch diese Methode keine genauen Resultate, weil ein Glas $\pm$ $^1/_{30}$ keine, und selbst ein solches $\pm$ $^1/_{20}$ nur eine kaum merkbare Verschiebung zu erzeugen im Stande ist, man also Refractions-Differenzen $^1/_{30}$ und sogar noch grössere nach dieser Methode nicht auffinden kann, ein Uebelstand, welcher der ersteren Untersuchungsart, wenn sie in der oben beschriebenen Weise ausgeübt wird, nicht zukommt.

Dagegen kann man durch Combination der Concavlinse mit einer stärkeren Normal-Convexlinse eine Doppellinse, die als Sammelglas wirkt, herstellen, die Brennweite dieser Combination bestimmen und aus dem gefundenen, sowie aus dem bekannten Werthe der Focaldistanz der Normal-Convexlinse die Zerstreuungsweite des Concavglases leicht berechnen. Combinirt man z. B. die Linse $-\frac{1}{x}$ mit $+$ $^1/_2$ und zeigt die Doppellinse eine Focaldistanz von 3", dann ist $^1/_2 - \frac{1}{x} = ^1/_3$ und folglich $\frac{1}{x} = ^1/_6$. Die Brennweite der Concavlinse beträgt 6". Die Methode ist, wenn die Linsen dicht an einander liegen, nur höchst unbedeutenden Fehlern unterworfen und man kann sich auf diese Weise, indem man die Brennweite der jeweiligen Combination auf ophthalmometrischem Wege und natürlich mit Zuhilfenahme gemessener Normalconvexgläser bestimmt, eine Reihe normaler Concavgläser sehr genau herstellen.

Endlich kann man die Zerstreuungsweite von Concavgläsern noch aus der durch sie gesetzten Verkleinerung der Objecte erschliessen wollen — falls man mit Hilfe der ersten oder dritten Methode bestimmte Normalconcavgläser zum Vergleiche hat. Man verfährt hierbei in gleicher Weise, wie bei der Beurtheilung von Convexgläsern nach der durch sie gesetzten Vergrösserung. Doch ist ein solches Verfahren ziemlich mühselig und bei schwachen Concavgläsern, deren verkleinernde Wirkung kaum merklich differirt, auch ungenau.

Digitized by Google

Bei der an den Augenarzt täglich herantretenden Aufgabe, die Zerstreuungsweite vorgewiesener Concavgläser zu bestimmen, bedient er sich am besten der erst genannten Methode.

Siebente Vorlesung.

Die Reihenfolge der Brillenbrennweiten.

Noch sind wir, meine Herren! mit der Besprechung der für unsere Probebrillen wichtigen Verhältnisse nicht zu Ende. Noch harrt Eine Frage und gerade die beachtungswürdigste ihrer Erledigung.

Gesetzt nämlich, es wäre das gleiche Zollmass, sowie der gleiche Brechungsindex allen Gläsern eigen, oder wir hätten die Brennweite der Gläser unseres Brillenkastens genau bestimmt, so fragt es sich, nach welchem Principe sollen die Gläser unseres Probebestecks geordnet, mit welcher Brennweite ausgestatte Linsen sollen in demselben enthalten sein.

Betrachten Sie, meine Herren, den Inhalt des vor Ihnen stehenden Brillenkastens, was seine sphärischen Gläser betrifft. Es finden sich da von Convex- und Concavgläsern je 33 Paare. Die Brennweiten der Gläser, in Wiener Zollen ausgedrückt, sind folgende:

80		8	
60	240	$7\frac{1}{2}$	120
50	300	7	105
40	200	$6\frac{1}{2}$	91
36	360	6	78
30	180	$5\frac{1}{2}$	66
24	120	5	55
20	120	$4\frac{1}{2}$	45
18	180	4	36
16	144	$3\frac{3}{4}$	60
14	112	$3\frac{1}{2}$	$52\frac{1}{2}$
13	182	$3\frac{1}{4}$	$45\frac{1}{2}$
12	156	3	39
11	132	$2\frac{3}{4}$	33
10	110	$2\frac{1}{2}$	$27\frac{1}{2}$
9	90	$2\frac{1}{4}$	$22\frac{1}{2}$
8	72	2	18

Digitized by Google

wobei die zwischen je zwei derselben zur Seite stehende Ziffer die Refractionsdifferenz bezeichnet. Nur in Ausnahmsfällen kommen noch die Gläser $4^1/_4$ und $4^3/_4$ in Gebrauch.

Liegt dieser Reihenfolge von Brillen ein wissenschaftliches Princip zu Grunde? Es kann diese Frage nur dahin verstanden sein, ob die Differenz der optischen Werthe zwischen je zwei unmittelbar auf einander folgenden Gläsern die gleiche ist, oder ob sie etwa in einer bestimmten Progression nach den Enden der Reihe zu- oder abnimmt? Die Antwort lautet, dass weder das eine, noch das andere stattfindet, ein wissenschaftliches Princip ist in der genannten Brillenreihe nicht zu entdecken. Es ist leicht, dies zu erweisen. Betrachten wir nämlich Gläserpaare, die wir an verschiedenen Punkten der Reihe herausheben, zunächst etwa an dem einen Ende der Scala die Nummern 60 und 50, an dem andern die Nummern $2^1/_4$ und 2. Die optische Differenz der erstgenannten Gläser beträgt $\frac{1}{300}$, da $\frac{1}{50} - \frac{1}{60} = \frac{1}{300}$, während jene der letztgenannten $= \frac{1}{2} - \frac{1}{2\frac{1}{4}} = \frac{1}{2} - \frac{4}{9} = \frac{1}{18}$ ist. Das will sagen: Will ich von dem Glase $\frac{1}{60}$ zum nächst stärkeren in der Reihe gelangen, so muss ich zu $\frac{1}{60}$ ein Glas von 300″ B. W. hinzufügen, denn $\frac{1}{60} + \frac{1}{300} = \frac{1}{50}$. Will ich aber von $2^1/_4$ zu 2 fortschreiten, so muss ich zu $2^1/_4$ ein Glas $^1/_{18}$, d. i. ein solches von nahezu 17mal kleinerer Brennweite, also 17mal grösserer Stärke fügen, als in dem ersteren Falle. Die Refractionsdifferenz zwischen $2^1/_4$ und 2 ist eine nahezu 17mal grössere, als jene zwischen 60 und 50.

Das Fortschreiten der optischen Differenz zwischen je zwei Gläsern erfolgt aber nicht etwa nach einem bestimmten Gesetze von dem einen Ende der Reihe zur entgegengesetzten. Davon überzeugen wir uns, wenn wir, wie dies auf der vorangehenden Tabelle geschehen, sämmtliche Refractionsdifferenzen unserer Gläser berechnen und mit einander vergleichen. Wir kommen dabei nur zu dem Schlusse, dass die optischen Unterschiede der schwächeren im Brillenkasten enthaltenen Gläser geringer sind, als jene der stärkeren, und dass dieselben, wie wir eben sahen, sogar um mehr als das 16fache des Werthes von einander abweichen können.

Diese unwissenschaftliche Ordnung der Gläser unserer Brillenetuis ist in neuerer Zeit ein Dorn in den Augen der Ophthalmo-

Digitized by Google

logen geworden. Zuerst hat Burow 1864 [1]) auf diesen Uebelstand hingewiesen und die Forderung gestellt, dass die Refractionsdifferenz zwischen je zwei Gläsern des Brillenkastens stets die gleiche sei. Er hat als Refractionsintervall eine Linse $^1/_{60}$, (resp. $\frac{1}{120}$ für die schwächeren Nummern bis $^1/_7$) vorgeschlagen. Im Jahre 1866 hat Zehender [2]) eine ähnliche Forderung wiederholt. Als „optische Einheit" d. i. als optische Differenz gilt ihm eine Linse $^1/_{48}$ und, wenn dies nicht genau genug sein sollte, eine Linse $^1/_{96}$. Sein Brillenkasten enthält 10 Paare Convex- und 10 Paare Concavgläser. Die Stärke derselben ist $^1/_2 = {}^{24}/_{48}$, $^1/_3 = {}^{16}/_{48}$, $^1/_4 = {}^{12}/_{48}$, $^1/_6 = {}^8/_{48}$, $^1/_8 = {}^6/_{48}$, $^1/_{12} = {}^4/_{48}$, $^1/_{16} = {}^3/_{48}$, $^1/_{24} = {}^2/_{48}$, $^1/_{48} = {}^1/_{48}$, $^1/_{96} = {}^1/_2 \,.\, {}^1/_{48}$. Er bezeichnet, wie wir schon früher sahen, die Gläser nach Giraud-Teulon's Vorgange, d. h. nicht nach ihrer Brennweite, sondern nach ihrer Stärke, wobei angegeben wird, aus wie viel 48stel Linsen die betreffende Linse besteht. Da also z. B. $^1/_2 = {}^{24}/_{48}$, so trägt Convex 2 die Bezeichnung Nr. 24; da $^1/_{96} = {}^1/_2 \,.\, {}^1/_{48}$, so ist $^1/_{96}$ = Nr. $^1/_2$. Der Brillenkasten Zehender's enthält demnach nach der letzten Bezeichnungsweise die Nummern: 24, 16, 12, 8, 6, 4, 3, 2, 1, $^1/_2$. Da diese Nummern nicht um die optische Einheit $^1/_{48}$ fortschreiten, so werden die Zwischennummern durch Combination gewonnen, also z. B. Nr. V $\left(\text{d. i. } \frac{5}{48} = \frac{1}{9\frac{3}{5}}\right)$ dadurch, dass man vor Nr. III noch Nr. II, oder vor IV Nr. I. setzt; Nr. 21 $\left(\frac{21}{48} = \frac{1}{2\frac{6}{21}}\right)$ dadurch, dass man zu Convex Nr. 24 Concav Nr. 3 fügt, falls man Convex 21 erhalten will, oder dass man zu Concav Nr. 24 Convex Nr. 3 gibt, falls es sich um Herstellung von Concav 21 handelt. Eine Anzahl von Nummern sehr kurzer Brennweite, solche, deren Brennweite zwischen 2 und 1 Zoll liegt, kann durch Combination der 10 Gläserpaare nicht erhalten werden, übrigens ein, wie wir sehen werden, vollkommen irrelevanter Umstand.

Der einmal angeregte Gegenstand wurde hierauf zunächst von Steinheil weiter verfolgt, dann durch Nagel [3]) und Javal [4]) in einer neuen Form auf's Tapet gebracht. Nagel proponirte nämlich, das Metermass dem Zollmasse zu substituiren, als Refractionsintervall eine

[1]) Ueber die Reihenfolge der Brillenweiten. Berlin.
[2]) Dessen klinische Monatsblätter.
[3]) Ibidem, 1868. pag. 65.
[4]) Congrès d'Ophthalmologie. Compte rendu. 1868.

Digitized by Google

Linse von 1 Meter (= 36·94 P. Z. = 37·96 Wiener Zoll) festzustellen, nöthigen Falls eine schwächere, eine solche von 2 Meter (unter Umständen auch von noch grösserer) B. W. einzuschieben, und die Gläser nach ihrer Stärke (wie dies schon Giraud-Teulon und Zehender gethan), zu bezeichnen, wobei die Linse von 1 Meter B. W. als Linse 1 zu gelten hätte. Javal meint, dass es besser wäre, als Refractionsintervall nicht 100, sondern 120 Centimeter zu nehmen, und zwar aus folgendem Grunde. 48 P. Z. sind 129·93, also fast genau 130 C. M. Die Brennweite der mit 48 bezeichneten, d. i. mit einem Radius von 48″ geschliffenen Biconvex- oder Biconcavlinsen ist aber, da der Brechungsindex des Glases mehr als 1·5 beträgt, kleiner als 48″, also kleiner als 130 C. M., und zwar ist sie 120 C. M. gleich. Indem wir nun eine um ein Refractionsintervall von 120 C. M. aufsteigende Reihe, welche die Gläser von 120, 60, 40, 30, 24, 20 ... C. M. Brennweite enthält, construiren, finden wir diese Gläser schon bei den Brillenschleifern vorräthig, indem die mit Brennweiten von 48, 24, 16, 12 ... Pariser Zoll bezeichneten Gläser thatsächlich den Gläsern der Centimeterreihe gleichkommen.

Burow [1]) suchte hierauf Zoll- und Metermass in ähnlicher Art zu vereinigen und zwar in folgender Weise. Eine Linse von 100 oder 120 Centimeter, d. i. von 37, resp. 48 Pariser Zollen Brennweite erscheint ihm und mit vollem Rechte als Refractionsintervall zu stark. Er proponirt, falls man das Metermass einführen wollte, hiefür eine Linse von 3 Meter Brennweite. Diese wäre, nach dem Vorgange Giraud-Teulon's als Linse 1 zu bezeichnen. 3 Meter sind nun gleich 114·7 Preuss. Zoll. Die von Burow als Refractionsintervall vorgeschlagene Linse $^1/_{120}$ nähert sich also stark diesem Werthe. Die Differenz zwischen den beiden Refractionsintervallen entfällt aber fast gänzlich, wenn man die factischen Verhältnisse berücksichtiget. Welche Brennweite besitzt nämlich die im Handel vorkommende, mit 120 signirte, weil mit dem Radius von 120″ auf beiden Flächen geschliffene Linse de facto? Nimmt man den mittleren Werth des Brechungsexponenten des Glases, aus dem Brillen gefertigt werden, mit 1·525 an, dann ergibt sich für die Linse $^1/_{120}$ als wirkliche Brennweite 114·3″, ein Werth, der mit dem oben aufgestellten von 3 Meter = 114·7″ nahezu identisch ist. Will man also das Metermass an Stelle des Zollmasses einführen, und hierbei die Dreimeterlinse als Einheit zu Grunde legen, so ist nichts Anderes nöthig, als die nach preussischem Zollmass geschliffenen ohnehin zu-

[1]) Zehenders Monatsblätter, 1868. pag. 189.

Digitized by Google

meist im Handel vorkommenden nach der Refractionsdifferenz $^1/_{120}$ fortschreitenden Gläser anders zu numeriren.

Die Linse I, deren Brennweite 3 Meter = 300 C. M. = 114·7 Pr. Z. beträgt, wird dargestellt durch die gegenwärtig mit 120 bezeichnete Linse. Die Linse II, welche 2 Einheiten, also 2 Drei-Meter-Linsen enthält, deren Brennweite demnach $1^1/_2$ Meter = 150 C. M. gleich ist, ist gegeben durch die Linse $^1/_{60}$, da dieser letzteren eine factische Brennweite von 57·14″ zukommt und 150 C. M. 57·35 Pr. Z. geben. Die Linse X mit der Brennweite von 30 C. M. = 11·47 Pr. Z. ist gleich der jetzigen Linse $^1/_{12}$, deren factische Focaldistanz = 11.43″.

Unter der Annahme, dass Nr. I = $^1/_{120}$, ergibt sich übrigens wie leicht begreiflich, die ganze Reihe von selbst, dadurch, dass man beide Theile der eben genannten Gleichung der Reihe nach mit den Zahlen 2, 3, 4 .... n multiplicirt.

Ist also I = $^1/_{120}$, dann ist z. B.
III = $^1/_{40}$
VIII = $^1/_{15}$
XII = $^1/_{10}$
XXIV = $^1/_5$

Da, wo durch die Division des Nenners im zweiten Theile der Gleichung keine ganze oder wenigstens keine durch die existirenden Schleifschalen gegebene Zahl zu Stande kommt, nimmt man Näherungswerthe. So ist z. B. Nr. XIII = $^{13}/_{120}$, also eigentlich = $\frac{1}{9\frac{3}{13}}$, kann aber $^1/_9$ gleich gesetzt werden, so ist Nr. LIV = $^{54}/_{120}$ = $\frac{1}{2\frac{2}{9}}$, dafür wird $\frac{1}{2\frac{1}{4}}$ genommen.

In dem Vorhergehenden haben wir einen Ueberblick über die wichtigsten Refractionsarbeiten auf dem Gebiete der Einrichtung der Brillenkasten gegeben. Die Wichtigkeit des Gegenstandes — wurde doch auf dem internationalen Pariser Congresse 1867 eine eigene Commission für die Prüfung desselben eingesetzt, ohne jedoch bisher ihre Resultate kundgegeben zu haben — ich sage, die Wichtigkeit des Gegenstandes hat eine etwas weitere Verbreitung über denselben nöthig gemacht und fordert natürlich auch zur Kritik auf. Wir wollen mit letzterer nicht zurückhalten.

Die erste Frage ist hierbei die: Bringt die gegenwärtige principienlose Einrichtung unserer Brillenkasten Nachtheile mit sich und

Digitized by Google

welches sind die Vortheile der rectificirten Scala? Man muss Burow die Gerechtigkeit widerfahren lassen, dass er sich selbst in seiner ersten Publication über diesen Gegenstand die genannte Frage vorlegte, während späterhin alle Welt darüber einig schien, dass eine gleichmässig forschreitende Brillenscala von grossem Vortheile sei.

Wir müssen nun gestehen, dass die Gründe, welche Burow in seiner Schrift: „Ueber die Reihenfolge der Brillen-Brennweiten" zu Gunsten eines bestimmten Refractionsintervalles auffuhrt, nicht sehr bestechend sind; sie laufen alle darauf hinaus, dass dadurch vollkommen Ungeübten, vor allem ganz ungebildeten Brillenverkäufern die Auswahl richtiger Gläser erleichtert wird, während Demjenigen, der vor der Addition und Subtraction zweier Brüche (entsprechender Linsenwerthe) nöthigenfalls nicht zurückschreckt, ein Vortheil bei der Auswahl von Brillen mit Hilfe eines wissenschaftlich geordneten Brillenkastens nicht erwächst. Wenn man, wie Zehender dies vorschlägt und wie es schon 18 Jahre vor ihm Merz gethan, bei der Brillenwahl die Probebrillen aus 2, sogar auch aus 3 Gläsern combiniren muss, weil der betreffende Brillenkasten zu wenig Gläser enthält, dann bietet die arithmetische Ordnung der wenigen im Besteck enthaltenen Gläser einen gewissen Vortheil, weil hierbei die bei dieser, sehr wenig nachahmungswerthen Methode der Brillenwahl nicht zu vermeidenden, in Permanenz erklärten Bruchrechnungen leichter ausführbar werden, als bei ungeordneten Gläserreihen.

Andererseits wird man sich aber begreiflicher Weise der Herstellung einer wissenschaftlich fortschreitenden Reihe nicht widersetzen, wenn diese Herstellung ohne besondere Schwierigkeiten und ohne Nachtheile für die Praxis geschehen kann. Hierbei jedoch begegnen wir nicht unwesentlichen Hindernissen.

Schon in Betreff der Grösse der Refractionsdifferenz konnten die betreffenden Autoren nicht einig werden. Während von einer Seite, wie wir sahen, eine Linse $^1/_{60}$, resp. $^1/_{120}$ empfohlen wird, wird von der anderen Seite die Linse $^1/_{48}$, resp. $^1/_{96}$ in Vorschlag gebracht. Die Anhänger des Metermasses dagegen erwarten theils von einer Linse von 100, theils einer solchen von 120 C. M. Brennweite das Heil, und drohen sogar ob dieser Meinungsverschiedenheit unangenehm gegen einander zu werden, bis endlich der erste Anreger der ganzen Frage, wenn schon das Metermass adoptirt werden soll, eine Linse von 300 C. M. als Refractionsintervall festgestellt haben will.

Die Meinungsverschiedenheit der Autoren bei der Wahl der Grösse des Refractionsintervalles hat nebst anderen Rücksichten ihren Haupt-

Digitized by Google

grund darin, dass ein und dasselbe Refractionsintervall für den Anfang, die Mitte und das Ende der Reihe unmöglich in Verwendung kommen kann und da man dieses Problem dennoch in dieser Richtung zu lösen versucht, so entspringt daraus das Bemühen, irgend einen möglichst passenden Werth zu finden, der aber doch nie so recht passen will. Wir brauchen nämlich von den schwächeren Nummern der Gläserreihe eine viel grössere Anzahl, als von den stärkeren, d. h. die Refractionsdifferenz der schwächeren Gläser unseres Brillenbestecks muss sehr gering, in der Regel so gering sein, dass es lächerlich wäre, die ganze Gläserscala nach dieser Refractionsdifferenz zu ordnen, während andererseits bei den starken Gläsern eine 10 und 20mal grössere optische Differenz irrelevant genannt werden muss. Das eben Gesagte nebst den Gründen dafür soll gleich klar werden.

Wenn wir ein Glas vor's Auge halten, so können wir dessen Wirkung dadurch modificiren, dass wir die Distanz zwischen Glas und Auge ändern. Convex 36 z. B. corrigirt, $^1/_2$" vor dem Knotenpunkte des Auges gehalten, wie wir sehen werden, eine Hypermetropie $\frac{1}{35\frac{1}{2}}$. Rücke ich das Glas noch um $^1/_4$" ab, dann wird jetzt eine Hypermetropie $\frac{1}{35\frac{1}{4}}$ neutralisirt. Das Glas hat nun eine andere Wirkung, es neutralisirt jetzt einen andern Grad von H. Die Refractionsdifferenz zwischen $\frac{1}{35\frac{1}{4}}$ und $\frac{1}{35\frac{1}{2}}$ beträgt aber nicht einmal $^1/_{5000}$. Was folgt daraus? Will ich nur einen um ein greifbares Minimum höheren Grad von Hypermetropie neutralisiren, so gelingt mir dies nicht durch Verschiebung des Glases um $^1/_4$" und nur eine solche und keine höhere ist in praxi zulässig, weil diese Verschiebung nur eine Wirkung hervorbringt, die gleich Null zu achten ist. In einem anderen Falle dagegen würde ein ursprünglich hypermetropisches Auge am grauen Staare operirt. Das aphakische Auge bedürfte zur Correctur Convex 2, $^1/_2$" vor den Knotenpunkt gestellt. Dann wird hierdurch H $\frac{1}{1\frac{1}{2}}$ corrigirt. Rücke ich Convex 2 noch um $^1/_4$" ab, so würde nunmehr H $\frac{1}{1\frac{1}{4}}$ neutralisirt. Die optische Differenz zwischen $\frac{1}{1\frac{1}{4}}$ und $\frac{1}{1\frac{1}{2}}$ beträgt aber nicht weniger als $\frac{1}{7\frac{1}{2}}$. Durch

Digitized by Google

Verschiebung einer Linse von 2" B. W. um $^1/_4$" erzeuge ich also einen ungefähr 700mal grösseren Effect, als durch die gleiche Verschiebung einer Linse $^1/_{36}$. Wir ersehen daraus: Je geringer die Brennweite einer Linse ist — denn für Concavgläser gilt etwas ähnliches, wie für Convexgläser — desto grössere Differenzen in der optischen Wirkung werden durch ganz geringe Verschiebungen derselben vor dem Auge erzeugt. Es ist daher im Allgemeinen eine geringere Anzahl von starken, als von schwachen Gläsern nöthig, weil bei den ersteren durch geringe Verrückungen vor dem Auge Correcturen ausgeführt werden, für welche in letzterem Falle eigene Gläser des Brillenkastens requirirt werden müssen. Gut, dann könnte man im Beginnen der Reihe nach einem geringeren Refractionsintervall, dann je mehr man sich dem Ende, an welchem die Gläser kurzer Brennweite stehen, nähert, nach einem Vielfachen dieses Intervalles fortschreiten.

Das kleinste Refractionsintervall, welches bisher gesetzt wurde, ist das von Burow, es ist gleich einer Linse von 120" B. W. Demgemäss sind die ersten Glieder seiner Reihe, wie er sie in seiner letzten Publication feststellt, Linsen von 120, 60, 40, 30, 24, 20, 17, 15, $13^1/_2$, 12" B. W. Jeder praktische Augenarzt wird nun wissen, dass diese Gläser nicht genügen. Es ist eine Erfahrungsthatsache, die man tagtäglich zu machen Gelegenheit hat, dass das Auge zwischen Convex und Concav 80 und 60, 50 und 40, ebenso zwischen 36 und 30 u. s. w. sehr wohl unterscheidet, dass es z. B. zwischen den drei Gläsern 40, 36 und 30 der Linse 36 entschieden den Vorzug gibt. Kein Wunder, denn selbst die geringe Refractionsdifferenz $^1/_{36} - {}^1/_{40} = {}^1/_{360}$ oder $^1/_{30} - {}^1/_{36} = {}^1/_{180}$ kann durch Verschiebung des Glases um 1 oder 2 Linien nicht überwunden werden.

Andererseits sehen wir wieder bei den starken Gläsern, selbst da, wo die Reihe Burow's schon um das doppelte Refractionsintervall, also um eine Linse $^1/_{60}$ fortschreitet, noch mehr Zwischennummern, als sich ohnehin jetzt schon finden, so zwischen 4 und 3 vier Stufen: $3^3/_4$, $3^1/_2$, $3^1/_3$ und $3^1/_6$, also statt des gewöhnlich vorhandenen Glases $3^1/_4$ zwei: $3^1/_3$ und $3^1/_6$. Wenn man aber bedenkt, dass z. B. Concav $3^1/_4$, das in einer bestimmten Entfernung vor dem Auge steht, wie $3^1/_3$ wirkt, wenn man es um Eine Linie weiter abrückt, und wie $3^1/_6$, wenn man es um Eine Linie dem Auge nähert, dann muss man doch gestehen, dass die Wissenschaftlichkeit hierbei schon etwas in Spielerei ausartet, besonders wenn man weiss, dass es sich bei so hochgradigen Refractionsanomalien, zu deren Correction derartige Gläser verwendet werden, überhaupt, wie wir noch sehen werden, um eine ganz genaue Correction in der Regel nicht einmal handelt. Bei den starken, zwischen 3 und 2 gelegenen

Digitized by Google

Gläsern wird nun in der Reihe Burow's der Wissenschaftlichkeit vor sich selber bange; um nicht durch die Aufstellung einer ganzen Reihe unnöthiger Gläser sich eine zu starke Blösse zu geben, streicht sie die Segel und lässt die alt hergebrachten Nummern: $2^3/_4$, $2^1/_2$ und $2^1/_4$ am Leben; und daran thut sie sehr wohl!

Was folgt aus all Dem? Die Empirie hat die Brillenkasten in der Art zusammengestellt, dass sich in denselben eine verhältnissmässig grössere Anzahl schwacher und eine verhältnissmässig geringe Anzahl starker Gläser findet, und die Betrachtung des Einflusses, welchen die Verschiebung der Gläser vor dem Auge auf ihre optische Wirkung nimmt, sowie die tägliche praktische Erfahrung spricht mit lauter Stimme für diese Einrichtung. Die Versuche, die Brillenkasten wissenschaftlich zu ordnen, sind sämmtlich als missglückt zu betrachten; man müsste, wollte man hierbei dem praktischen Bedürfnisse entsprechen, zwischen je 4 oder 5 Gliedern der Reihe ein anderes Refractionsintervall einführen, wodurch, wie ich im Gegensatze zu Nagel glaube, die ganze Wissenschaftlichkeit illusorisch würde. Man vergesse eben nicht, dass es sich hierbei nicht um eine gleichmässige Theilung eines bestimmten optischen Werthes, etwa einer Linse $^1/_2$, zum Zwecke theoretischer Betrachtungen, sondern um die Correction individueller Refractions- und Accommodationsanomalien handelt.

Allein mit dem eben Erwähnten haben wir die Schwierigkeit des Gegenstandes noch nicht genügend beleuchtet. Gesetzt, wir billigten eine Scala mit einer bestimmten Refractionsdifferenz, wie steht es mit der Herstellung der betreffenden Gläser? Man muss hierbei auf die schon vorhandenen Schleifschalen möglichst Rücksicht nehmen. Die Aufstellung einer Scala, für deren Herstellung durchgehends oder fast durchgehends neue Schleifschalen nöthig wären, wäre ein harmloser Scherz ohne weitere Folgen, da es keinem Brillenschleifer in den Sinn kommen würde, sich zu einem solchen mit riesigen Kosten verbundenen Unternehmen herzugeben, um zum Schaden noch den Spott zu tragen, denn darauf würde wahrlich, wenn der Spruch überhaupt Anwendung findet, passen: Parturiunt montes — — —! Mit Berücksichtigung schon bestehender Schleifschalen, so dass nur die Herstellung einer geringen Anzahl neuer Schalen sich als nothwendig erwies, hat Burow seine Drei-Meter-, resp. 120 Preuss. Zoll-Scala in folgender Weise hergestellt. Dabei ist zu bemerken, dass wir zwischen je zwei Nummern der Reihe die factische Refractionsdifferenz eingetragen haben. Wir wissen dass die Nummern angeben, wie viele $^1/_{120}$ Linsen die betreffende Linse enthält.

Digitized by Google

Nr.	1 = 120		Nr.	19 = $6\frac{1}{3}$	
		120			114
„	2 = 60		„	20 = 6	
		120			138
„	3 = 40		„	21 = $5\frac{3}{4}$	
		120			$126\frac{1}{2}$
„	4 = 30		„	22 = $5\frac{1}{2}$	
		120			$115\frac{1}{2}$
„	5 = 24		„	23 = $5\frac{1}{4}$	
		120			105
„	6 = 20		„	24 = 5	
		$113\frac{1}{3}$			70
„	7 = 17		„	26 = $4\frac{2}{3}$	
		$127\frac{1}{2}$			$63\frac{2}{3}$
„	8 = 15		„	28 = $4\frac{1}{3}$	
		135			52
„	9 = $13\frac{1}{3}$		„	30 = 4	
		108			60
„	10 = 12		„	32 = $3\frac{3}{4}$	
		132			$52\frac{1}{2}$
„	11 = 11		„	34 = $3\frac{1}{2}$	
		110			70
„	12 = 10		„	36 = $3\frac{1}{3}$	
		90			$63\frac{1}{3}$
„	13 = 9		„	38 = $3\frac{1}{6}$	
		153			57
„	14 = $8\frac{1}{2}$		„	40 = 3	
		136			33
„	15 = 8		„	44 = $2\frac{3}{4}$	
		120			$27\frac{1}{2}$
„	16 = $7\frac{1}{2}$		„	48 = $2\frac{1}{2}$	
		105			$22\frac{1}{2}$ [1]
„	17 = 7		„	53 = $2\frac{1}{4}$	
		140			18
„	18 = $6\frac{2}{3}$		„	60 = 2	
		$126\frac{2}{3}$			
„	19 = $6\frac{1}{3}$				

Betrachtet man diese nach dem Refractionsintervall $\frac{1}{120}$ errichtete Reihe. so bemerkt man an ihr sofort das Eine, dass sie mit Ausnahme der ersten Nummern, welche aber gerade für das praktische Bedürfniss nicht ausreichen, nicht nach dem Intervall $\frac{1}{120}$, überhaupt nach keinem gleichmässigen Intervall geordnet ist. Ja, es kommen darin sogar solche Differenzen vor, dass sich selbst eine unwissenschaftliche Reihe ihrer nicht zu schämen brauchte. Die Differenz zwischen Nr. 12 und 13 beträgt z. B. $\frac{1}{90}$, die unmittelbar darauf folgende zwischen 13 und 14 aber $\frac{1}{153}$, die erstere Differenz ist mehr als das Anderthalbfache der zweiten, und die Nummern 12, 13, 14, welche ja ein gleichmässiges Fortschreiten um eine Linse $\frac{1}{120}$ anzeigen

[1]) $2\frac{1}{4}$ wird in dieser Scala von Burow als Nr. 53 und bald darauf als Nr. 54 bezeichnet. Es ist $^{53}/_{120} = 2\frac{1}{3\frac{1}{11}}$, $^{54}/_{120} = 2\frac{1}{4\frac{1}{2}}$.

Digitized by Google

sollten, thun dies durchaus nicht. Ebenso weicht die Brechungsdifferenz bei den meisten übrigen Nummern mehr oder weniger von der normalen ab. Diese Fehler damit, wie dies Burow thut, zu beschönigen, dass die wirklichen Brillenbrennweiten wegen der Grösse des Brechungscoëfficienten des Glases „keineswegs den Nummern entsprechen, mit denen sie bezeichnet sind," und dass dadurch selbst „die grössten Fehler der obigen Reihe fast um das Doppelte" übertroffen werden können, geht durchaus nicht an, denn der Fehler, der dadurch entsteht, betrifft die Brennweite aller Gläser gleichmässig, ohne die Refractionsdifferenz zu alteriren, und gerade Burow hat ja durch die Rückführung der Brillenbrennweiten seiner Gläser auf ihren wahren Werth seine Reihe direct in die 3-Meterscala umwandeln können. Wenn man aber die Fehler der Reihe damit entschuldigt, dass es ja auf geringe Abweichungen nicht ankommt und dass die bei den Brillenschleifereien unterlaufenden verschiedenartigen Verstösse noch gröbere Irrthümer verschulden, so haben wir, die wir auf eine gleichmässig geordnete Brillenreihe kein Gewicht legen, dagegen nichts einzuwenden, aber entschieden müssen wir uns dagegen verwahren, wenn „post tot discrimina rerum" eine „wissenschaftlich" geordnete Reihe aufgestellt wird, welche mit dem praktischen Bedürfnisse nicht übereinstimmt und, dazu nicht einmal theoretisch richtig, sogar zu wissenschaftlichen Irrthümern führen kann. Die Bedürfnisse der Praxis und die technische Schwierigkeit der Ausführung lehnen also eine Umgestaltung unserer Brillenkasten ab.

Noch haben wir eine Anzahl von Fragen besonders zu erledigen:

1. Soll man die bisherige Bezeichnung der Brillen nach ihrer Brennweite beibehalten, oder dafür die von Giraud-Teulon, Zehender, Nagel und Burow adoptirte nach ihrer Stärke einführen? Die letztere Bezeichnungsweise hat den Vortheil, dass man statt mit Brüchen, mit ganzen Zahlen addiren und subtrahiren kann. Es wäre gegen dieselbe auch Nichts einzuwenden, wenn nur irgend eine Refractionseinheit gefunden werden könnte, von welcher unsere Brillengläser Vielfache darstellen würden, so dass man die Stärke derselben stets durch ganze Zahlen auszudrücken im Stande wäre. Allerdings gehen Jene, welche eine wissenschaftliche Reihe herstellen wollen, den umgekehrten Weg. Sie möchten nur Gläser aufnehmen, welche den fortschreitenden Nummern ihrer Scala entsprechen. Wie schwer dies unter Berücksichtigung der vorhandenen Gläser gelingt, sehen wir aus der bestconstruirten Scala Burow's, in welcher so viele der Nummern nur Näherungswerthe darstellen. Aber auch darüber könnte man sich hinwegsetzen, wenn nur eine

Digitized by Google

bestimmte Refractionseinheit allgemein angenommen wäre. So aber, wo ein und dasselbe Glas z. B. $\frac{1}{12}$, je nachdem man eine Linse von 216″, von 48″, von 120″ oder von 1 Meter B. W., wie ja dies Alles geschah, zu Grunde gelegt hat, bald als Nr. 18, bald als Nr. 4, bald wieder als Nr. 10 oder als Nr. 3 bezeichnet wird, würde vorläufig durch die Substitution der Stärke für die Brennweite eine so heillose Verwirrung entstehen, dass es gerathener erscheint, bei der alten Bezeichnungsweise zu bleiben. Ist es doch nicht so schwer, 2 in Brüchen ausgedrückte Linsenwerthe zu addiren oder zu subtrahiren! Und selbst für Den, der dies nicht vermöchte, ist gesorgt. Javal [1]) hat eine Règle à calcul angegeben, die Burow [2]) für seine Brillenscala einrichtete, ohne dass sie aber desshalb, wie Wecker mit Recht hervorhebt [3]), in ihrer Leistung gewonnen hätte. Es handelt sich dabei um zwei in gleicher Weise getheilte Lineale, welche, indem man sie gegen einander verschiebt und einen gewissen Theilstrich der einen Scala mit einem anderen der zweiten Scala zusammenfallen lässt, gewisse Additions- und Subtractionsrechnungen gleichsam selbst vollführen, wobei freilich häufig genaue Resultate nicht erzielt werden. Den Linealen hat Burow später [4]) zwei concentrische Kreise, welche beide die Eintheilung tragen und in einander gedreht werden können, substituirt. Wir finden, dass durch solche Vorrichtungen das Bischen Geist, das in Brillenbestimmungen allenfalls noch steckt, gänzlich ausgetrieben wird, und andererseits wehe, wenn eine nicht vollständig geübte Hand mit diesen Linealen manipulirt. Dann würden schöne Resultate abgelesen werden!

2. Soll man statt des Zollmasses das Metermass einführen?

Ein gleichartiges Mass ist sicherlich wünschenswerth, allein das Metermass hat für diesen Fall von theoretischer Seite her keinen besonderen Vorzug, da die in Zollen angegebenen Werthe nicht in Fusse (oder Linien) umgerechnet werden, und daher der Vortheil des Decimalmasses vor dem Duodecimalmasse bei der Rechnung mit Linsenwerthen gänzlich entfällt. In praktischer Hinsicht hat Burow, wie wir sahen, gezeigt, wie leicht die nach preussischem Zollmass bezeichneten Linsen das metrische Mass erhalten könnten, allein gerade für die nach Pariser und Wiener Zollen geschliffenen Gläser wäre

[1]) Annales d'oculistique 53. Band 1865. pag. 181.
[2]) Graefe's Archiv XII. 2. 1866. pag. 308.
[3]) Etudes ophthalmologiques II. Band 1866. pag. 1034.
[4]) Berliner klinische Wochenschrift 10. März 1867.

Digitized by Google

diese einfache Umwandlung nicht möglich, sowie anderseits die von Javal vorgeschlagene Ummodlung von Linsen Pariser Brennweite in 120-Centimeter-Linsen auf Linsen, nach preussischem und Wiener Mass geschliffen, keine Anwendung finden könnte.

3. Sollen wir bei der Brillenwahl zur Composition des nöthigen Glases aus 2 oder 3 Gläsern schreiten, wie dies Zehender und damit seinen vereinfachten Brillenkasten empfiehlt. Burow hat schon dagegen mit Recht bemerkt, dass es sich bei der Brillenwahl um möglichst raschen Wechsel der Gläser vor dem Auge handelt und dass es bei der Zusammensetzung der Gläser aus 2 oder 3 anderen, bei der oft nothwendigen Entfernung zweier Gläser und dem Vorsetzen zweier anderer u. s. w. so langsam hergeht, dass sich dabei das betreffende Auge nur schwer der Differenz bewusst wird. Wenn wir unserem Brillenkasten nur die praktisch nothwendigen Gläser einverleiben, sind ja seine Dimensionen ohnehin nicht allzugross; auch wandert man ja mit demselben in der Regel nicht von Haus zu Haus, sondern nimmt die Untersuchung gewöhnlich in dem mit den nöthigen Apparaten, Tafeln u. s. w. ausgestatteten Ordinationslocale vor. Für specielle Zwecke sehen Sie, meine Herren, hier ein Etui, in welches man eine ziemlich grosse Anzahl von Probegläsern einrollen und ohne die geringste Belästigung bei sich tragen kann.

Aus diesen langen Erörterungen ziehen wir nun endlich folgendes Resumé:

Die Fehler und Nachtheile, welche 1. dadurch, dass die Gläser nach verschiedenem Längenmass geschliffen werden, 2. dadurch, dass auf ihnen die richtige Brennweite nicht genau angegeben ist und 3. dadurch, dass sie in unseren Brillenkasten nicht nach einem wissenschaftlichen Principe geordnet sind, in der Praxis sich ergeben, sind so gering, dass die Herstellung von Gläsern, welche ausschliesslich nach einem und demselben Längenmasse in allen optischen Instituten geschliffen, genau mit der nach dem jeweiligen Brechungsindex des Glases zu eruirenden Brennweite versehen und eine arithmetische (um eine bestimmte Refractionseinheit fortschreitende) Reihe bilden würden — ich sage, dass diese Reform auf dem Gebiete der Brillenfabrication, die, wenn überhaupt ausführbar, mit den riesigsten Kosten verbunden und nur in Decennien erreichbar wäre, die darauf verwendete Mühe entschieden nicht lohnen würde.

Es genügt vielmehr, wenn uns die Differenzen der verschiedenen Längenmasse bekannt sind; wenn wir die wirklichen Brennweiten unserer Probebrillen kennen, jedoch, falls überhaupt, nur mit Vorsicht von dieser

Digitized by Google

Kenntniss bei der Verschreibung von Brillen Gebrauch machen; und wenn wir die Refractionsdifferenzen der in unserem Brillenkasten enthaltenen Gläser berechnen und uns in einer Tabelle vor Augen halten.

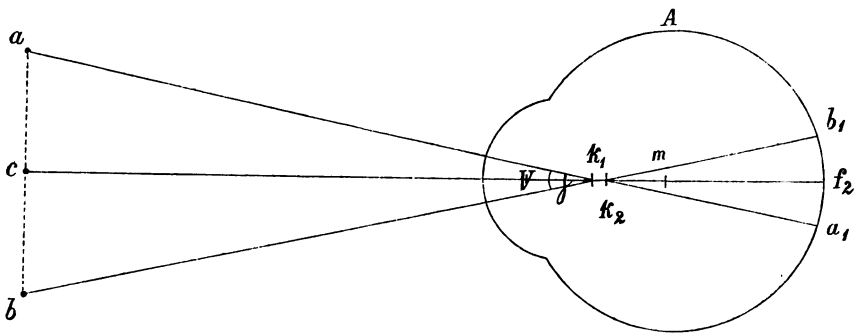
Achte Vorlesung.

Sehschärfe.

Man hat sich gegenwärtig, besonders nach dem Vorgange von Snellen und Donders gewöhnt, die Refraction des Auges gleichzeitig mit dessen Sehschärfe zu bestimmen, gewiss eine sehr lobenswerthe Vereinigung der Lösung zweier für die physikalische Untersuchung des Auges so wichtigen Aufgaben.

Was verstehen wir unter Sehschärfe des Auges und wie messen wir dieselbe? Es seien (Fig. 37) a und b zwei leuchtende Punkte. Be-

Fig. 37.



finden sich dieselben in einer unveränderlichen Entfernung vom ersten Knotenpunkte des Auges, ist $ck_1 = d$ eine gegebene Grösse, dann werden die zwei leuchtenden Punkte a und b als gesondert wahrgenommen werden können, wenn ihr gegenseitiger Abstand ab nicht unter ein gewisses Mass sinkt. Bei einer gewissen Kleinheit von ab wird das Auge A nicht mehr im Stande sein, a und b als zwei discrete Leuchtpunkte zu unterscheiden, es werden dieselben vielmehr als ein einziger erscheinen. Je kleiner nun, bei gleichbleibendem d, ab werden kann, ohne dass die Wahrnehmung der zwei gesonderten Punkte erlischt, desto grösser ist das Unterscheidungs-, das Distinctionsvermögen, desto grösser die Sehschärfe des Auges A. Wir bekommen ein ganz ähnliches Mass

Digitized by Google

für die Feinheit der Sinneswahrnehmung, wenn wir bei unverändertem Abstande der beiden leuchtenden Punkte die äusserste Entfernung d bestimmen, in welcher a sich noch von b differenzirt. Es ist klar, dass die Sehschärfe jenes Auges die grössere ist, welches die Distinction auf eine grössere Entfernung vorzunehmen vermag.

Wodurch ist aber die Grenze unseres Unterscheidungsvermögens gegeben? Entwerfen wir die Netzhautbilder a_1 und b_1 der beiden Punkte a und b. Damit a von b noch unterschieden werde, darf der Abstand der Netzhautbilder a_1 b_1 nicht unter eine bestimmte Grösse sinken. Es gibt einen Grenzwerth von a_1 b_1, ein kleinstes Netzhautbild, bei dessen weiterer Verkleinerung a und b sich uns nicht mehr isolirt, sondern in Eins verschmolzen kundgeben. Wir erreichen diesen Grenzwerth α_1 β_1, indem wir bei gleichbleibendem d den Abstand der leuchtenden Punkte um ein Bestimmtes, etwa um das Dreifache (von ab auf $\alpha\beta$) verkleinern, oder indem wir, bei unverändertem Abstande der Leuchtpunkte ab, deren Entfernung vom ersten Knotenpunkte verdreifachen, so dass $c\,k_1 = 3\,d$ wird.

Wir ersehen daraus, dass wir um das Unterscheidungsvermögen eines Auges zu beurtheilen, nicht blos die Grösse des von demselben noch wahrgenommenen Objectes, sondern natürlich auch des letzteren Entfernung vom ersten Knotenpunkt des Auges; oder aber die Grösse des kleinsten Netzhautbildes kennen müssen.

Es ist demnach klar, dass die Sehschärfe ausgedrückt werden kann durch die Grösse des aus distincten Punkten zusammengesetzten Objectes, dividirt durch die äusserste Entfernung vom Auge, in welchem noch die deutliche Wahrnehmuug des Gegenstandes möglich ist.

So lange das Objectbild keine grössere Fläche als jene der Fovea centralis einnimmt (und bei den Prüfungen der Sehschärfe wird diese Bedingung erfüllt) steht die Sehschärfe genau im umgekehrten Verhältnisse zur Grösse des Netzhautbildes, d. h. ein Auge, welches in einer bestimmten Distanz ein Object von der Grösse a unterscheiden kann, hat eine doppelt so grosse Sehschärfe, als ein zweites Auge, welches auf den gleichen Abstand nur ein Object von dem Durchmesser $2a$ zu erkennen vermag.

Setzen wir ferner die Grösse des kleinsten Netzhautbildes in mehreren Augen gleich gross, so wird unter diesen Augen jenes die grösste Sehschärfe haben, welches von einem in einer bestimmten Entfernung befindlichen Object das grösste Netzhautbild entwirft, denn dieses Auge wird in der gegebenen Distanz ein kleineres Object zu erkennen vermögen, als jedes andere der Augen, weil in ihm von

Digitized by Google

einem kleineren Objecte ein ebenso grosses Netzhautbild entworfen wird, als in den übrigen Augen von einem grösseren Objecte.

Die Sehschärfe ist also unter übrigens gleichen Umständen einzig und allein von der Grösse des Netzhautbildes abhängig.

Die Sehschärfe wird ferner noch durch die Grösse des Gesichtswinkels gemessen, allein ehe wir auf diesen Gegenstand näher eingehen, müssen wir hier gleich bemerken, dass wir nur dann die Grösse des Gesichtswinkels als Mass für die Sehschärfe ansehen können, wenn die zu vergleichenden Augen denselben anatomischen Bau besitzen und wenn sie nicht durch Brillengläser (es wäre denn durch die gleichen im gleichen Abstande vor dem Auge stehenden) corrigirt sind. Wir werden später sehen, wie das Letztere zu verstehen ist.

Trotzdem ist der Begriff des Gesichtswinkels ein wichtiger. Wie wollten wir z. B. aus Grösse und Abstand des Objectes, aus der Grösse des Netzhautbildes unsere Sehschärfe begreifen, wenn die leuchtenden Punkte a und b am Himmel lägen, wenn wir an zwei nahe aneinander gelegenen Sternen unsere Sehkraft erproben wollten? Wir müssen also noch einen andern Werth als Mass des Distinctionsvermögens einführen und dieser bietet sich auch von selbst dar. Die Grösse des kleinsten Netzhautbildes (es sei dies jetzt in Fig. 37 durch $a_1 b_1$ dargestellt) ist für ein und dasselbe Auge, wenn wir die Lage der Knotenpunkte als unverändert, das Auge also stets in demselben Zustande der Accommodation annehmen wollen, nur abhängig von der Grösse des Winkels $a_1 k_2 b_1$, der dem Winkel $a k_1 b = \gamma$ (weil beider Winkel Schenkel parallel sind) gleich ist. Dem Grenzwerthe des Retinabildes entspricht also ein Grenzwerth des Winkels γ. Der Winkel γ ist derselbe, ob das Object eine Grösse ab bei einem Abstande von d vom Auge, oder eine Grösse $\frac{ab}{3} = \alpha\beta$ bei einem Abstande von $\frac{1}{3} d$ vom Auge besitzt. Indem ich sage, der kleinste Werth des Winkels γ, bei welchem die Leuchtpunkte a und b noch isolirt gesehen werden, beträgt z. B 3 Minuten, habe ich ein ganz allgemeines Mass für die Sehschärfe des betreffenden Auges angegeben. Doch kann ich hiebei nicht unerwähnt lassen, dass die beiden Masse $(ab : d$, sowie $\frac{ab}{3} : \frac{1}{3} d)$ eigentlich de facto nicht vollkommen gleichwerthig sind, allein für unsere Zwecke können wir sie als gleichwerthig ansehen.

Dieser Winkel γ, d. i. jener Winkel, welchen die von den Endpunkten eines Objectes gezogenen Geraden (Richtungslinien) im ersten

Digitized by Google

Knotenpunkte des Auges bilden, ist als Gesichtswinkel (Angulus visorius) zu bezeichnen.

Da man das Wort: Gesichtswinkel so häufig im Munde führt, so ist es gut, sich in Betreff desselben vollkommen zu orientiren. Der Gesichtswinkel kann nämlich noch anders definirt werden, als es eben geschah. Wenn ich die beiden leuchtenden Punkte a und b nicht gleichzeitig, sondern nur nach einander im directen Sehen betrachte, so dass ich also die Gesichtslinie meines Auges zuerst auf a und dann, indem ich mein Auge bewege, nach b richte, so wird der Abstand der Netzhautbilder von a und b, die Grösse des Retinalbildchens a_1 b_1 von der Grösse der Excursion des Auges abhängig sein, der Gesichtswinkel wird im Drehpunkte m des Auges gebildet werden und da dieser hinter den Knotenpunkten gelegen ist, kleiner sein als γ. Endlich meint Helmholtz, dass bei dem Ausdrucke, dass Objecte, die unter gleichem Gesichtswinkel erscheinen, gleiche scheinbare Grösse haben, man den Scheitel des Gesichtswinkels in den Kreuzungspunkt der Visirlinien: v (d. i. in den Mittelpunkt des Hornhautbildes der Pupille) legen müsse. Der so gebildete Gesichtswinkel wäre, da sein Scheitel am meisten nach vorne liegt, unter den dreien der grösste.

Als Mass der Sehschärfe halten wir jedoch den Winkel γ als Gesichtswinkel fest, weil durch ihn die Grösse der Netzhautbilder als Function des Baues des Auges gegeben wird, vorausgesetzt dass dieser Bau stets der gleiche in Bezug auf die Lage der Knotenpunkte und die Länge der Augenaxe ist. Der Gesichtswinkel erheischt aber noch einen historischen Rückblick. Den Astronomen verdanken wir die ersten Studien über diesen Gegenstand. Um den Winkel zu messen, unter welchem die Himmelskörper (Sonne, Mond) sich darbieten, um die Distanzen (in Bogen oder Winkeln ausgedrückt) zu bestimmen, welchen die Sterne von einander zeigen, war es unumgänglich nothwendig, zu wissen, wo der Scheitel des entsprechenden Winkels, d. i. des Gesichtswinkels hinzulegen wäre. Schon Archimedes suchte bei der Bestimmung des Winkels, unter welchem die Sonne erscheint, sich den Irrthümern hierbei, wenn auch nicht ganz glücklich, zu entziehen. Seine Methode findet sich beschrieben in der Schrift: De Arenae numero, welche, sowie dessen übrige Schriften, der berühmte Interpret des Euclid, Fridericus Commandinus (1509—157) commentirt hat. Es wird dieses Umstandes hier so ausführlich erwähnt, weil Commandinus bei der Interpretation jener Stelle des Archimedes eines sichern Rabbi Levy Erwähnung thut, welcher nach dem was vorliegt, offenbar der Erste annäherungsweise eine richtige Ansicht vom Gange der

Digitized by Google

Lichtstrahlen im Innern des Auges, dieselbe Ansicht, die Kepler nach ihm entwickelte, gewann, nämlich die, dass die von den Objecten kommenden Lichstrahlen sich im Innern des Auges und zwar in dessen Mittelpunkte durchkreuzen. Dieser Anschauung pflichtete Kepler bei und hob hervor, dass man den Scheitel des in Rede stehenden Winkels in das optische Centrum des Auges, welches er mit dem Centrum des Glaskörpers identisch hält, verlegen müsse. (Siehe Kepler: Ad Vitell. Paralipomena Capit. V. 5.) Damit war ein grosser Schritt vorwärts gethan. Die volle Wahrheit erfasste einige Jahre später Scheiner. Was Scheiner bereits annahm und, wie man heute sagen kann, mit Recht annahm, ist geradezu erstaunlich. Wenn er (Oculus pag. 17) einen Durchschnitt des menschlichen Augapfels abbildet, dessen Axe vom Vorderpol der Hornhaut bis zur Retina genau der Axe des Listing'schen schematischen Auges entspricht, dessen Cornea, von der Scheiner bereits bestimmt erklärt, dass sie nicht sphärisch, sondern sphäroidisch gekrümmt sei, einen Radius von 8 M^m. darbietet, und dessen Sehnerv nicht im hinteren Pol des Bulbus, wie die Anatomen damals angaben, sondern an seiner richtigen Stelle sich inserirt, so ergreift uns das Gefühl namenloser Verwunderung, weil Scheiner zu jener Zeit nach seinem eigenen Geständnisse [1]) noch niemals ein menschliches Auge anatomisch untersucht hatte und nur vom Thier- auf das Menschenauge schloss. Aber die vollste Bewunderung erfasst uns, wenn wir sehen, wie Scheiner in Betreff der schwierigsten optischen Fragen seiner Zeit um Jahrhunderte vorauseilte. Scheiner lässt nämlich bereits die von den Endpunkten eines Objectes gezogenen Linien, wenn er gleich dieselben nicht als ungebrochen zeichnet, in der Linse und zwar nahe ihrem hintern Pole, sich durchkreuzen und nennt den dadurch entstehenden Winkel den Gesichtswinkel, Angulus visorius. Noch mehr! Von diesem Kreuzungspunkte der Sehlinien unterscheidet Scheiner sehr wohl den Drehpunkt des Auges, legt denselben in das Centrum der Scleralsphäre und bezeichnet ihn als unbeweglich. „Oculo moto centrum oculi quiescere, neque moveri, nisi ex capitis accidente motu.“ Er spricht es ferner aus, dass man einen doppelten Gesichtswinkel unterscheiden müsse, dass es ausser jenem Winkel, unter welchem die Objecte vermöge ihrer Grösse erscheinen und aus dessen Grösse wir direct auf die Grösse der Objecte schliessen, einen zweiten gäbe, welcher als solcher nicht existirt, sondern erst durch die Bewe-

[1]) Oculi humani exempti copia mihi necdum est facta. pag. 18.

Digitized by Google

gung des Auges, indem dabei die Sehaxe verschiedene Stellungen einnimmt, durch diese successiven Richtungen der Sehaxe gebildet wird.

„Quid conferat anguli visorii inventio?“ fragt Scheiner selbst. Der erste Punkt seiner Antwort lautet: „Die Ergründung der Wahrheit in einer so verwickelten Sache muss an und für sich als der würdigste Lohn angesehen werden. Wer die Schriftsteller über Optik liest, der wird ein Labyrinth, aus dem kein Ausweg sich zeigt, betreten und kymmerische Finsterniss vorfinden.“ Ja wohl kymmerische Finsterniss! In ihr hat man auch noch nach Scheiner Jahrhunderte lang gewandelt. Mehr als zweihundert Jahre später verlegte Volkmann den Kreuzungspunkt der Richtungslinien noch in den Drehpunkt des Auges, versetzte Johannes Müller den Drehpunkt in die Mitte der hinteren Scleralfläche und im Jahre des Heils 1870 fängt man an, zu beweisen, dass der Drehpunkt des Auges wirklich unbeweglich sei!

Haben wir den Begriff des Gesichtswinkels einmal festgestellt, dann können wir zur Frage über die Grenze unseres Unterscheidungsvermögens schreiten. Sie lautet, welches ist, den Bau des Auges stets als den gleichen gesetzt, der kleinste Gesichtswinkel, unter welchem Objecte noch unterschieden werden können?

Wir haben gleich im Beginne unserer Erörterung als Prüfstein für die Sehschärfe ein Object genommen, dessen Grösse durch den Abstand zweier Leuchtpunkte bestimmt wird. Ebenso kann die Frage nach der Grösse des kleinsten Gesichtswinkels, unter welchem ein Object noch wahrgenommen werden kann, nur so verstanden werden, dass das Object durch den Abstand zweier discreter Punkte (oder Linien) dargestellt wird. Denn sonst können Objecte noch unter einem unmessbar, resp. äusserst kleinen Gesichtswinkel und bei einem unmessbar, resp. äusserst kleinen Netzhautbilde gesehen werden, wenn nur das Object eine hinlänglich grosse Lichtstärke besitzt; Beweis dafür ist bekanntlich der, dass wir die Fixsterne und unter günstigen Verhältnissen bei Nacht auf ungeheure Entfernungen Lichtflammen sehen. Es soll damit aber durchaus nicht gesagt sein, dass wir nicht auch auf diese Art durch Betrachtung eines einzelnen leuchtenden Objectes einen Begriff von der Sehschärfe eines Auges bekommen könnten, nur wäre eine derartige Bestimmungsweise sehr complicirt. Sogar an den einzelnen Sternen, die ja nach der verschiedenen Lichtstärke classificirt werden, wären ganz gut Sehprüfungen vorzunehmen. Augen von sehr guter Sehkraft sind jene, welche noch Sterne sechster Grösse deutlich erkennen, Augen mit ausserordentlicher Sehschärfe — solche kommen, wenn auch

Digitized by Google

sehr selten, vor — jene, die natürlich unbewaffnet noch schwächere Sterne, als solche sechster Grösse, deutlich sehen. Auch durch das Wahrnehmen terrestrischer Gegenstände auf bestimmte Entfernung muss sich die Grösse der Sehschärfe manifestiren. In dieser Beziehung ist es geradezu erstaunlich, was das menschliche Auge leisten kann. Die merkwürdigste diesbezügliche Thatsache ist wohl diejenige, welche Alexander von Humboldt [1]) berichtet. Als sein Reisebegleiter Bonpland in einer Expedition nach dem Vulkan Pichincha begriffen war, sahen die Indianer von dem Standorte Humboldt's aus, welcher 85596′ oder $3^{7}/_{10}$ geographische Meilen vom Vulkan entfernt war, mit freiem Auge Bonpland als einen weissen sich vor schwarzen Basaltfelsen fortbewegenden Punkt früher, ehe ihn Humboldt und sein Gastfreund mit ihren Fernrohren aufzufinden vermochten. Auch den beiden Letzteren wurde hierauf bald das weisse sich bewegende Bild sichtbar. Die Bedingungen für die Sichtbarkeit waren abgesehen von der Durchsichtigkeit der Atmosphäre noch dadurch besonders günstig, als Bonpland in den Poncho, den landesüblichen weissen Mantel, gehüllt war, der gegen die schwarzen Felsen besonders stark contrastirte. Bei der Annahme der Schulterbreite von 3—5 Fuss, da der Mantel Bonpland's bald fest anlag, bald weit zu flattern schien, berechnete Humboldt die Grösse des Gesichtswinkels, unter welchem der sich bewegende Gegenstand gesehen wurde, auf zwölf bis sieben Secunden!

Gerade dieses letzte Beispiel zeigt uns schon, dass das Betrachten einzelner Objecte nur schwierig als Mass für die Sehschärfe benützt werden kann, und wir daher bei der Frage nach dem kleinsten Gesichtswinkel auf der Unterscheidung zweier discreter Punkte oder Objecte beharren müssen.

Bei dieser Frage findet man fast durchgehends an allen Stellen, die sich mit ihr beschäftigen, als die älteste Beobachtung, welche als Anhaltspunkt genommen wird, jene von Hooke (1705) angeführt, der angab, dass das schärfste Auge kaum zwei Sterne erkennen könne, die am Auge einen Winkel von weniger als einer halben Minute machen, und dass kaum Einer von Hunderten solche zu unterscheiden vermöge, wenn der Winkel weniger als 1 Minute beträgt. Wenn nun damit gesagt sein soll, dass das Unterscheidungsvermögen zweier Sterne allgemein dann beginnt, wenn der Winkel 1 Minute beträgt, so wurde nie eine unrichtigere, man könnte sogar sagen, lügenhaftere Angabe gemacht.

---

[1]) Kosmos, 3. Band pag. 69.

Digitized by Google

Bei der Unterscheidung der Sterne kommt sehr viel auf ihren verhältnissmässigen Glanz an. „Ist einer von beiden“ sagt Mädler [1]), „ausgezeichnet hell, so wird man den schwächeren schwerer erkennen, als wenn beide nahe von gleicher (am besten nicht über dritter und nicht unter fünfter) Grösse sind.“ Nimmt man derartige Sterne verschiedenen Glanzes, dann bedarf es relativ ungeheuerer Distanzen, um sie zu unterscheiden. Am interessantesten in dieser Beziehung ist der kleine Stern Alcor, welcher in einer Distanz von nicht weniger als 11′ 48″ (nach Triesnecker) vom Sterne Mizar im Schwanz des grossen Bären steht und dennoch in unseren Gegenden auch von einem sehr scharfsichtigen Auge nicht wahrgenommen wird, weil er, nach Argelander ein Stern 5. Grösse, von den Strahlen des Mizar, ein Sternes 2. Grösse, „überglänzt“ erscheint. Unter anderen Himmelsstrichen ist die Unterscheidung Alcors leichter möglich; so sah ihn Alexander von Humboldt [2]) (trotz der niedrigen Stellung des grossen Bären unter den Tropen) allabendlich an der regenlosen Küste von Cumana auf den 12000′ hohen Ebenen der Cordilleren in grosser Deutlichkeit und so kommt es, dass ihn auch die Araber bereits kannten und ihn, wie der persische Astronom Kazwini mittheilt, Saidak (oder Suha) den Prüfer nannten, „weil man an ihm die Sehkraft zu prüfen pflegte.“ Wir sehen daraus, dass schon die Araber Prüfungen der Sehschärfe vorgenommen haben, sowie uns anderseits die Sternprüfung im Allgemeinen den Beweis liefert, dass die Sehschärfe des menschlichen Auges seit Jahrtausenden sich nicht geändert hat.

Ein zweiter Beweis (in gewisser Beziehung ein noch viel mehr auffallender) für die geringe Leistungsfähigkeit unseres Anges den Sternen gegenüber ist der, dass ja die 4 Jupiterstrabanten erst mit Hilfe des Fernrohres entdeckt wurden, und doch steht der grösste und in der Regel auch der hellste dritte Mond in einem Abstand von etwa 5 Minuten, der vierte, allerdings gewöhnlich lichtschwächste, in einem solchen von 8—10 Minuten vom Jupiter ab. Auch hier sind die Monde vom Hauptplaneten überstrahlt und es ist nur ein einziger Fall bekannt, dass ein Mensch die Jupitersmonde (und zwar auch nur die lichtstarken, nämlich den 1. und den 3.) mit freiem Auge erkannte. Es war diess der im Jahre 1837 zu Breslau verstorbene Schneidermeister Schön, über den Humboldt [3]) berichtet. Die Ursache, warum dieser Schneidermeister

---

[1]) Populäre Astronomie 1846, pag. 439.
[2]) Kosmos 3. Band, pag. 66.
[3]) Kosmos 3. Band, pag. 112 und 113.

Digitized by Google

die Jupitersmonde sah, ist noch viel interessanter, als die Thatsache selbst. Schön ist nämlich der einzige Mensch (mit einer Linse im Auge), von dem constatirt ist, dass er keinen irregulären Astigmatismus besessen. Schön sah nämlich Fixsterne und Planeten immer frei von Strahlen, er sah sie nicht als Sterne, sondern als leuchtende Punkte.

In der That hat das Ueberglänzen der Sterne seinen Grund nur in dem irregulären Astigmatismus, d. i. in der Unvollkommenheit des dioptrischen Systems unseres Auges. Würde das Bild eines Sternes auf der Netzhaut ein Punkt sein, dann wäre es undenkbar, dass Alcor und Mizar nicht getrennt gesehen, dass die lichtstarken und weitabstehenden Jupiterstrabanten von einem normalsichtigen Auge nicht erkannt würden. So aber ist in Folge der Unregelmässigkeiten im brechenden Apparate des Auges und namentlich in Folge der eigenthümlichen Structur der Linse das Bild eines Sternes z. B. zweiter Grösse ein vielfach verzogener „sternförmiger" Zerstreuungskreis, welcher in den ähnlichen, aber lichtschwachen Zerstreuungskreis des verhältnissmässig weit abstehenden Nebensterns hineingreift oder ihm wenigstens sehr nahe kommt, wodurch das schwache Licht des letzteren keine isolirte Wahrnehmung mehr hervorzurufen im Stande ist. Demnach wird ein Mensch, der einen möglichst vollkommenen dioptrischen Apparat im Auge trägt, auch wenn die Zapfenschicht seiner Fovea centralis keinen besonderen Vorzug besitzt, eine Sehschärfe, wie Schön, aufweisen können, und auch linsenlose Individuen mit normaler Sehschärfe dürften, natürlich durch Gläser genau corrigirt, die Sternprüfung besser bestehen, als linsenbesitzende mit vergleichbaren Augen.

Allein selbst wenn wir zur Prüfung Sterne wählen, bei welchen von einem Ueberglänzen nicht gesprochen werden kann, wenn also die betreffenden Sterne gleiche Lichtstärke aufweisen, so ist von einer Richtigkeit der Hooke'schen Angabe doch keine Rede. Die beiden mit α Capricorni bezeichneten Sterne 3. und 4. Grösse, welche $6^1/_2$ Minuten von einander abstehen, werden nach Mädler nur von guten Augen getrennt gesehen, Humboldt bezeichnet sie als ohne Mühe erkennbar, d. h. für scharfsichtige Augen. Allein doch stehen diese Sterne von nicht viel differirender Lichtstärke schon an der Grenze der isolirten Unterscheidbarkeit. Dagegen sagt Mädler von den Sternen ε und 5 Lyrae, welche beide vierter Grösse sind und $3' 27''$ von einander abstehen, dass sie selbst das schärfste Auge nicht getrennt, sondern höchstens als ovalen Stern sehe, Galle [1]) glaubt bei sehr

[1]) Humboldt, l. c. pag. 66.

Digitized by Google

heiterer Luft ε und 5 Lyrae noch mit blossem Auge zu sondern, und Aubert [1]) ist einer von den Wenigen, welche diese Sterne „unter sehr günstigen Verhältnissen, aber auch nur auf kurze Momente“ zu isoliren behaupten.

Im Allgemeinen muss gesagt werden, dass ein Auge, welches normale Sehschärfe im Sinne Snellen's besitzt, welches also, wie wir sehen werden, nach Snellen's Ansicht unter einem Winkel von Einer Minute differenzirt, unter den günstigsten Bedingungen nur Sterne unterscheiden kann, die nicht weniger als fünf Minuten von einander abstehen.

Es ist daher im höchsten Grade befremdend, wenn Helmholtz [2]) die unmöglichen Angaben Hooke's zu Grunde legend, anführt: „Die übrigen Beobachter, welche nicht an Sternen, sondern an weissen beleuchteten Strichen oder Vierecken ihre Beobachtungen angestellt haben, fanden eine etwas geringere Sehschärfe.“ Diese Annahme Helmholtz's von der Richtigkeit der Hooke'schen Angabe ist um so unangenehmer, als sich nicht blos „Gesetz und Rechte,“ sondern auch „Citate“ „wie eine ewige Krankheit forterben,“ so dass Boettcher z. B. noch anno 1870 Gründe dafür aufführt, warum wir Sterne unter einem kleineren Gesichtswinkel, als terrestrische Gegenstände sehen, während doch factisch der Gesichtswinkel zur Unterscheidung von Sternen ein fünfmal grösserer sein muss und ein Auge, welches unter einem solchen Gesichtswinkel terrestrische Gegenstände unterscheiden würde — ein derartiges Auge würde nur Snellen Nr. 100 auf 20′ sehen! — in hohem Grade amblyopisch wäre.

Sterne, selbst solche gleicher Lichtstärke, sind aber auch kein geeignetes Object, um die Grösse des kleinsten Gesichtswinkels zu erforschen, weil nach Aubert die absolute Helligkeit der Objecte eine grosse sein muss, damit bei geringer Helligkeitsdifferenz gegen die Umgebung Unterscheidung stattfinde, dagegen bei abnehmender absoluter Helligkeit die Helligkeitsdifferenz bis zu einem gewissen Grade zunehmen muss, damit Unterscheidung möglich sei. Da aber die Helligkeit selbst eines Sternes erster Grösse absolut genommen eine sehr unbedeutende ist, so macht sich die mit der Abnahme der absoluten Helligkeit Hand in Hand gehende Abnahme des Distinctionsvermögens geltend, so zwar, das Sterne, die einen verhältnissmässig grossen Bogenabstand zeigen, nicht mehr getrennt wahrgenommen werden.

---

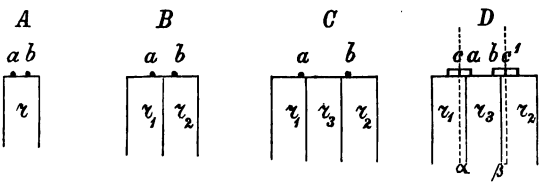
[1]) Physiologie der Netzhaut pag. 233.

[2]) Physiologische Optik pag. 216.

Digitized by Google

Dis Versuche, die unter günstigeren Bedingungen mit schwarzen Punkten auf weissem Papier (Hueck), mit weissen Papierquadraten auf schwarzem und schwarzen Quadraten auf weissem Papier (Aubert), mit parallelen weissen Linien und ebenso oder ungleichbreiten schwarzen Zwischenräumen (Tob. Mayer, Weber, Bergmann), mit Spinnwebfäden (Volkmann), mit einem gegen den hellen Himmel gerichteten Gitter von schwarzen Drähten, dessen Lücken mit dem Durchmesser der Drähte an Breite übereinstimmten (Helmholtz) — alle die genannten Versuche, welche in die Zeit vor Volkmann's neueren Experimenten (1863) über diesen Gegenstand fielen, liessen so viel erkennen, dass in der That das Unterscheidungsvermögen des menschlichen Auges unter günstigen Bedingungen soweit reiche, als es Hooke fälschlich für die unter ungünstigen Verhältnissen stattfindende Sternprüfung angenommen hatte, dass nämlich unter einem Gesichtswinkel von 1 Minute noch deutlich unterschieden werden könne. Wir können nun unter Zugrundelegung des schematischen Auges die Grösse des Retinalbildes β berechnen, welche einem Winkel von 1′ entspricht. Beträgt (Fig. 37) der Gesichtswinkel γ eine Minute, so ist natürlich auch γ' $(= a_1\ k_2\ b_1) = 1'$ und $^1/_2\ \gamma' = 30''$. Da gleichzeitig in dem $\Delta\ a_1\ k_2\ f_2$ oder $\Delta\ b_1\ k_2\ f_2$ die Kathete $k_2\ f_2 = 14{\cdot}858$ M^m. (unter Zugrundelegung des schematischen Auges) gegeben ist, so können wir $a_1\ f_2 = b_1\ f_2 = {}^1/_2\ \beta$ (geradlinig angenommen) leicht berechnen und finden auf diese Weise $\beta = 0{\cdot}0043202$ Millimeter. Die Frage nach den letzten percipirenden Netzhautelementen schliesst sich, wenn sie gleich vorwaltend blos physiologisches Interesse hat, hier unmittelbar an. Wenn 2 mathematische Leuchtpunkte, deren Bilder 4 Tausendtheile eines Millimeters von einander abstehen, noch distinct wahrgenommen werden können, so folgt daraus das Eine, dass der Querdurchmesser der empfindenden Elemente kleiner sein müsse, als 0·004 M^m. Ist (Fig. 38. *A*) r ein solches Element, dann wird es von dem Bilde eines Leuchtpunkts, wenn dasselbe auch einen viel kleineren Diameter als r

Fig. 38.



hat, dennoch in toto erregt, es kann deshalb auf die Grösse von a kein Rückschluss gemacht und ebenso nicht unterschieden werden, ob statt Eines Punktes zwei, a und b, oder mehrere auf r ihr Bild entwerfen. Die Empfindungen für die einzelnen Punkte confluiren, es entsteht der Eindruck eines einzigen Leuchtpunktes. Dasselbe findet statt, wenn die

Digitized by Google

Bilder zweier Leuchtpunkte zwar auf zwei, aber unmittelbar neben einander liegende Elemente r_1 und r_2 (siehe *B*) fallen. a erregt r_1, b erregt r_2 vollständig und es kann wieder nicht empfunden werden, ob es sich um zwei isolirte Leuchtpunkte oder um Ein leuchtendes Object mit dem Durchmesser ab (oder noch grösserem Diameter) handelt. Erst wenn (wie in *C*) zwischen den Bildern a und b ein drittes percipirendes Element r_3 liegt, welches also vom Lichte der Punkte a und b nicht erregt wird, werden die letzteren als durch einen dunklen oder dunkleren Zwischenraum getrennt und demnach isolirt erscheinen. Nehmen wir den Leuchtpunkten den Charakter der mathematischen oder statt derselben leuchtende Objecte, so werden ihre Bilder a und b sicherlich distinct wahrgenommen werden, wenn ein intactes Element zwischen sie fällt. Allein es können, wenn nur der Helligkeitsunterschied gegen ihren Zwischenraum ein bedeutender ist, also wenn z. B. 2 weisse Streifen, die durch einen schwarzen gleich breiten getrennt sind, als Probeobject dienen, die Bilder der weissen Streifen noch etwas über das Element r_3 (in *D*) hinübergreifen und doch kann dieses weniger Licht empfangen, als die Elemente r_1 und r_2, und es können daher die zu a und b gehörigen Objecte noch immer durch einen dunklen Streifen getrennnt erscheinen. Dieses hat allerdings bald seine Grenzen. Wenn die Hälfte jedes Leuchtbildes also ac und bc^1 auf r_3 fielen, wenn also r_3 einen Durchmesser cc^1 hätte, dann würde es mehr Licht erhalten, als jedes der Nachbarelemente, und es könnte die Wahrnehmung nicht gesondert sein. Daraus folgt nach Helmholtz, dass das percipirende Netzhautelement r_3 einen Durchmesser $\alpha\beta$ habe, der zwar grösser als ab, d. i. grösser als der Abstand der zugekehrten Grenzen der beiden Leuchtbilder sein kann, aber in jedem Falle kleiner als cc^1 d. i. kleiner, als der Abstand der beiden Bildmittelpunkte von einander, sein muss. Bei der Berechnung des kleinsten Gesichtswinkels soll dieses Verhältniss gleichfalls in Betracht gezogen werden. Würde man den Abstand der erwähnten beiden hellen Streifen von einander als Object nehmen, so würde der Gesichtswinkel zu klein ausfallen, und Helmholtz hat desshalb als Breite des Probeobjectes den Abstand der Mittellinien zweier Nachbarobjecte (also z B. die Mittellinien der zwei hellen durch einen dunkeln getrennten Streifen) von einander angenommen, darnach den Gesichtswinkel berechnet und die Angaben anderer Autoren corrigirt.

Die Grösse des kleinsten Netzhautbildes, welche sich hiebei wie wir sahen herausstellte, die Grösse von 0·00432 M^m war sehr wohl mit der Annahme verträglich, dass die Zapfen des gelben Fleckes die

Digitized by Google

Seheinheiten darstellen, selbst wenn wir den Durchmesser des Zapfenkörpers in der Fovea centralis zu Grunde legen.

Für den Durchmesser des Zapfenkörpers in der Fovea centralis liegen nämlich folgende Messungen vor. Für die dünnsten Zapfen derselben fand Max Schultze an erhärteten Präparaten 0·002—0·0025 M$^{m.}$ [1]) Als er später frische Affennetzhäute untersuchte und feststellte, dass „die Elemente der Fovea, welche er frisch zu 0·0028 M$^{m.}$ mass, in der Müller'schen Flüssigkeit ein wenig schrumpfen und nach der Erhärtung nur 0·0025 M$^{m.}$ massen," nahm er auch für den Durchmesser der von ihm gemessenen menschlichen Retinalzapfen die Grösse von 0·0028 M$^{m.}$ als wahrscheinlich an [2]). H. Müller [3]) fand übereinstimmend, dass an Flächenansichten frischer wie erhärteter Präparate, sowie an Schnitten die Zapfen gegen die Mitte des gelben Flecks 0·003 M$^{m.}$ an Dicke nicht überschreiten, wohl aber noch mit etwas geringerem Durchmesser vorkommen, und Welcker [4]) mass an den Augen eines 64jährigen Mannes in der ersten Stunde nach der Hinrichtung die Zapfenbreite im Mittel zu 0·0033 M$^{m.}$. Spätere Messungen wiederum von Seite Max Schultze's [5]) schliessen sich diesen Zahlen vollkommen an. Er fand für die Zapfenkörper der Fovea, wenn er 4 oder 5 zugleich mass und die erhaltene Zahl theilte, 0·0033—0·0036 M$^{m.}$, und eine etwas geringere Zahl, falls die Elemente einzeln gemessen wurden. Für diesen Fall zeigte sich in 2 exstirpirten Augen eine Breite von 0·003 M$^{m.}$, an anderen conservirten Präparaten von 0·003—0·0034 M$^{m.}$.

Wenn wir also den Durchmesser des Zapfenkörpers mit 0·003 M$^{m.}$ annehmen, so wäre damit, falls die Grösse des kleinsten Netzhautbildes 0·004 M$^{m.}$ beträgt, die Bedeutung der Zapfen als letzte Seheinheiten natürlich gewahrt.

Einen Moment lang schien es jedoch, als sollte die schöne Theorie, dass die Zapfen die ersten Angriffspunkte für das Licht seien, den Resultaten physiologischer Untersuchungen erliegen müssen; es war dies zur Zeit, als Volkmann (1863) neue Experimente in Betreff der Sehschärfe anstellte, und dabei hervorhob, dass die Irradiation bei der Bestimmung des kleinsten Gesichtswinkels eine wichtige, bis dahin

---

[1]) Sitzungsberichte der niederrheinischen Gesellschaft für Natur- und Heilkunde, Juli 1861.

[2]) Dessen Archiv 2. Band pag. 224.

[3]) Würzburger naturw. Zeitschrift 2. Band pag. 219.

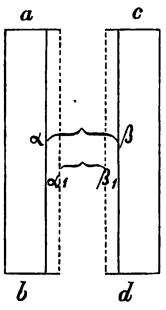
[4]) Zeitsch. für rat. Medicin 3. Reihe B. XX. pag. 176.

[5]) Archiv. 2. Band, pag. 227, 228 und 229. Siehe auch Retina, pag. 1023.

Digitized by Google

nicht berücksichtigte Rolle spiele. Er sagt: Sind (Fig. 39) *ab* und *cd* zwei Linien, zwischen ihnen der Raum $\alpha\beta$, so dient die Breite $\alpha\beta$ dieses Zwischenraumes als Object, und aus der Grösse von $\alpha\beta$ und der Distanz, in welcher der mittlere Streifen verschwindet, wird der Gesichtswinkel, resp. das kleinste Netzhautbild berechnet. Dies ist aber unrichtig, weil durch die Irradiation die Linien *ab* und *cd* verbreitert und daher im Netzhautbilde nicht ihre wirkliche Distanz $\alpha\beta$, sondern die durch die Irradiation verkleinerte Distanz $\alpha_1\ \beta_1$ in Betracht kommt. Das Object ist also kleiner, daher auch das kleinste Netzhautbild, sowie der kleinste Gesichtswinkel kleiner, als man bisher annahm. Es muss demnach, um die Wahrheit zu ergründen, zuerst die Irradiationsgrösse berechnet und von der Distanz $\alpha\beta$ der Objecte abgezogen werden, um die wirklich in Betracht kommende Grösse des Objectes zu erhalten. Indem nun Volkmann bei seinen Versuchen, zu welchen zwei feine, vollkommen parallel zu einander laufende, gegen den Himmel gerichtete Silberdrähte verwendet wurden, diese Irradiationsgrösse berechnete, kam er zu sehr kleinen Werthen und zu dem Resultate, dass auf einem Zapfenquerschnitt wenigstens 3 gesonderte Lichtperceptionen stattfinden müssen. Damit wäre natürlich die Bedeutung der Zapfen als Seheinheiten über den Haufen geworfen. Allein die Schlussfolgerung Volkmann's ist in jedem Falle unrichtig. Bergmann (1865) wendete sich gegen die Bedeutung der Irradiation, ebenso zeigte Aubert (1865), dass die Formel Volkmanns für die Berechnung des kleinsten Retinalbildchens nicht ohne Bedenken sei und kam nach Eliminirung des Fehlers bei seinen eigenen erneuerten Beobachtungen wieder zu einem Gesichtswinkel von ungefähr 1 Minute, und auch Helmholtz, der, wie wir ja sahen, nicht den Abstand der Objecte, sondern den Abstand ihrer Mittellinien bei den hierher gehörigen Berechnungen zu Grunde legt, konnte eben schon aus letzterer Ursache den Auseinandersetzungen Volkmann's nicht beistimmen. Im Gegentheile zeigten neue, durch Helmholtz angeregte Versuche Hirschmann's (1867), dass der Gesichtswinkel unter den günstigsten Bedingungen etwa 50 Sekunden betrage.

Fig. 39.



Aber selbst zugegeben, dass Volkmann's Bestimmungen des kleinsten Gesichtswinkels richtig wären, würde daraus noch durchaus nicht folgen, dass die Zapfen nicht die Seheinheiten sind. Auf den Zapfenkörpern sitzen nämlich gegen die Chorioidea hin, durch schwarzes Pigment von einander getrennt, die konischen Zapfenstäbe

Digitized by Google

mit ihrer geschichteten Structur, und diese sind es, für welche, wie wir sahen, Hensen zuerst mit aller Entschiedenheit die schon von Max Schultze muthmasste Bedeutung der allein das Licht empfindenden Elemente in Anspruch nimmt, eine Ansicht, der sich Helmholtz zuneigt und welche Max Schultze nunmehr selbst vertritt. Diese Zapfenstäbe nun sind unendlich fein, der Durchmesser ihrer Spitzen beträgt nach Max Schultze nur $^1/_6$—$^1/_5$ des Durchmessers des Zapfenkörpers [1]). Mit der wohl begründeten Annahme, dass diese Zapfenstäbchen die empfindenden Elemente seien, können nicht blos Sehschärfen, wie die von Volkmann angegebenen, falls seine Werthe richtig wären, erklärt werden, sondern wir müssen sogar, anstatt wegen der Kleinheit des kleinsten Gesichtswinkels den Zapfen, wie dies Volkmann thut, ihre wohl erworbene Bedeutung zu nehmen, die Spitze umkehren und uns fragen, wie es, auch wenn wir die Unvollkommenheiten des dioptrischen Apparates berücksichtigen, kommt, dass bei dieser Feinheit der letzten Enden der Sehnervenfasern unser Distinctionsvermögen im Allgemeinen ein verhältnissmässig so geringes sei.

Schon der letzteren Thatsache wegen halte ich es für das Wahrscheinlichste, dass das deutliche Bild nicht an der Spitze, sondern auf der inneren Fläche des empfindenden Zapfenstabes, also der scharf geschnittenen Grenzfläche zwischen Zapfenkörper und Zapfenstab entworfen wird, auf jener Grenzfläche, deren Durchmesser von Max Schultze auf 0·001 M^m, also auf den dritten Theil des Durchmessers des Zapfenkörpers geschätzt wird, und daher selbst eine Volkmann'sche Sehschärfe erklären würde.

Wollten wir nicht handwerksmässig an die Lösung der Frage gehen, wie der Augenarzt in praxi die Bestimmungen der Sehschärfe vornimmt, war es nothwendig einen Ueberblick über jenen Theil der physiologischen Seite der Frage zu halten, der uns hier interessirt.

Es ist klar und braucht nicht erst des Längern erörtert zu werden, dass wir für praktische Zwecke auch praktischer Sehproben bedürfen, dass wir nicht mit Drahtgitter, Spinnwebfäden und silbernen Drähten die täglichen Bestimmungen über die Sehschärfe des Auges vornehmen können. Es ist auch einleuchtend, dass es sich bei derartigen Prüfungen nicht darum handelt, die äusserste Grenze, sondern vielmehr das normale Mittel der Distinctionsfähigkeit festzustellen, also zu entscheiden, ob das betreffende Auge eine noch als normal zu betrachtende Sehschärfe, oder eine pathologische und dann in welchem Grade (im

[1]) Nach Max Schultze's neuesten Angaben (Retina, pag. 1023) allerdings $^1/_3$ (0·001 M^m).

Digitized by Google

Vergleich zum normalen Mittel) herabgesetzte besitzt. Einzeln stehende Buchstaben, zusammenhängende Schrift, Zeichen und Punktgruppen werden hierbei mit Erfolg verwendet werden können, wenn es nur gelingt, anzugeben, in welcher Entfernung d. i. unter welchem Gesichtswinkel die betreffenden Proben von normalsichtigen Augen erkannt werden.

Haben auch in früherer Zeit die Augenärzte sicherlich das Bedürfniss gefühlt, verschieden grosse Schriften zur Anwendung zu ziehen, um sich beiläufig eine Vorstellung über das Sehvermögen ihrer Patienten zu verschaffen, so war doch, wie bekannt, Eduard Jäger (1854) der Erste, welcher eine ganze Reihe, nämlich 20, der Grösse nach abgestufte Leseproben (von der feinsten Diamantschrift bis zu einer Buchstabenhöhe von $^3/_4$ — 1 Zoll) veröffentlichte, welcher er später noch ein Supplement, die Nummern 21 — 24, folgen liess. Eine äusserst compendiöse Taschenausgabe dieser „Schriftscalen" (mit Zollstab und Bleistift, sowie mit einem Pergamentblatt zur Notirung der gefundenen Resultate versehen) ist wohl das Vademecum jedes Augenarztes. Die Jäger'schen Schriftscalen haben sich eine ungeheuere Verbreitung erworben, sie sind fast in allen civilisirten Sprachen erschienen und konnten, trotzdem dass man ihnen Principienlosigkeit zum Vorwurfe macht, für gewisse Zwecke durch keine anderen bis jetzt verdrängt werden.

Im Jahre 1854 fügte auch Smee seinem Buche „über das gesunde und kranke Auge" Probebuchstaben bei, und 1855 hing Stellwag von Carion seiner bekannten Arbeit über „die Accommodationsfehler des Auges" eine sehr schön gedruckte Tafel mit 18 Sehproben an, aus welchen bereits dasselbe Princip, das Giraud-Teulon und Snellen später (1862) zur Geltung brachten, ersichtlich ist. Snellen's Sehproben, theils einzelne Buchstaben, theils zusammenhängende Schrift enthaltend, haben Epoche gemacht. Mit ihrer Hilfe war man zuerst in der Lage, die Sehschärfe durch eine Zahl auszudrücken. Nach Snellen's Tafeln hat noch Green eine ähnliche anfertigen zu sollen geglaubt. Endlich hat das Jahr 1870 noch drei hierher gehörige Erscheinungen aufzuweisen. „Kurze Anleitung zur Untersuchung der Sehschärfe" heisst eine Schrift von Prof. Dr. H. Dor, ist aber gar nichts anderes, als — ein Snellen in der Westentasche. Dagegen bringen die „Internationalen Sehproben" Burchardt's und die „Geometrischen Sehproben" Böttcher's statt der Schriftproben, welche aber bei Böttcher gleichzeitig in der gewöhnlichen Form zu finden sind, als Sehobjecte Gruppen von runden Tüpfeln, resp. kleinen Vierecken und Quadraten. Wie Burchardt angibt, hat er die Idee zu seinen Sehproben ähnlichen, die Striedinger 10 Jahre früher veröffentlichte, entnommen.

Digitized by Google

Das Princip der Snellen'schen Probebuchstaben ist folgendes: Ein Auge mit normaler Sehschärfe, sagt Snellen, kann Buchstaben unterscheiden, falls dieselben unter einem Gesichtswinkel von 5 Minuten erscheinen. Wählt man quadratische Buchstaben, deren einzelne Striche eine Dicke gleich $^1/_5$ ihrer Höhe haben, dann geben sich bei einem Gesichtswinkel von 5′ die einzelnen Striche der Buchstaben unter einem Winkel von 1 Minute. Allerdings sind die Lettern Snellen's nicht so gewählt, was übrigens auch nicht möglich ist, dass zur Erkennnung derselben stets die gleich Sehschärfe erforderlich wäre. Es kommt natürlich viel auf die Form der Buchstaben an. Um das O einer bestimmten Grösse auf eine bestimmte Entfernung zu sehen, bedarf es einer geringeren Schärfe, als um das C$^{a}_{b}$ von diesem O oder das G vom C zu unterscheiden, oder im A oder Y die obere Lücke zu erkennen. Die Lücke: *ab* in C erscheint, wenn der ganze Buchstabe unter einem Winkel von 5′ steht, unter einem solchen von 1′, und nur Derjenige, der dabei das C sicher erkennt und vom O, sowie vom G sicher differenzirt, der das Y nicht für ein T hält, erfüllt Snellen's Postulat, unter einem Winkel von 1′ zu unterscheiden. Hierzu muss aber gleich bemerkt werden, dass bei dem Erkennen von Buchstaben noch andere Verhältnisse, über die wir später noch ein Wort sagen wollen, mitspielen und dass Buchstaben wie C und G unter diesen Umständen noch immer unvergleichlich leichter erkannt werden, als zwei discrete Punkte, die 1 Minute Abstand haben.

Im Allgemeinen muss man also nach dem Gesagten bei der Sehprüfung darauf achten, ob das betreffende Auge sämmtliche, auch die einander ähnlichsten Buchstaben unter einem Winkel von 5 Minuten anzugeben im Stande ist, und es ist daher nicht zu billigen, dass Snellen in seiner letzten Ausgabe die schwer unterscheidbaren Lettern Y, C, G, in der Reihe XX weggelassen und durch leichter erkennbare ersetzt hat. Es sei hier auch gleich erwähnt, dass schwarze Buchstaben auf weissem Grunde leichter zu unterscheiden sind, als weisse auf schwarzem, und dass die Angaben über Sehschärfe sich immer auf die Buchstaben ersterer Art beziehen.

Snellen's Probelettern, wenigstens die kleineren derselben, stehen zu mehreren je in einer Reihe, über welcher eine Zahl sich befindet, die angibt, in welchem Abstande (in Pariser Fussen gerechnet) die betreffende Buchstabenreihe unter einem Winkel von 5′ erscheint. Um also z. B. die Schrift XX unter dem genannten Winkel zu sehen, muss man sich 20 P. F. von derselben entfernen. Die Sehschärfe (S) wird ausgedrückt durch einen Bruch, in dessen Nenner die Zahl D steht, welche über der zur

Digitized by Google

Prüfung verwendeten Buchstabenserie zu lesen ist, und dessen Zähler jene Zahl (d) enthält, welche in Pariser Fussen den äussersten Abstand angibt, in welchem die betreffenden Buchstaben von dem untersuchten Auge factisch noch deutlich und scharf erkannt, nicht blos unsicher enträthselt werden. Es ist also $S = \frac{d}{D}$.

Die Grösse des Objectes, dividirt durch den Abstand desselben vom ersten Knotenpunkte, gibt das Mass für die Sehschärfe, und die letztere ist insoferne gleich der Tangente des Gesichtswinkels oder genauer der doppelten Tangente des halben Gesichtswinkels. Ist (Fig. 37) ac die Grösse des Objectes, ck_1 dessen Abstand vom ersten Knotenpunkte, in welchem ac eben noch deutlich erkannt wird und ak_1c der Gesichtswinkel, so ist $S = \frac{ac}{ck_1} = \frac{\text{sin. } ak_1c}{\text{cos. } ak_1c} = \text{tang. } ak_1c$. Lassen wir bei grösseren Objecten die Gesichtslinie cf_2 die Mitte c des Objectes ab treffen, und den Gesichtswinkel γ halbiren, dann ist $S = \frac{ac + bc}{ck_1} = 2 \text{ tang. } {}^1/_2\,\gamma$.

Die Buchstabenreihen der grossen Snellen'schen Tafel zeigen je nach ihrer Grösse über sich die Zahlen: CC, C, LXX, L, XL, XXX, XX. Auf kleineren Tafeln finden sich dann noch ausserdem die Nummern: XV, XII, X, VIII, VII, VI, V, IV, III, II, I.

Dass von jener Schrift, die auf 200′ unter einem Winkel von 5′ erscheint, nur ein einziger und bei der 100′-Schrift nur 2 Buchstaben sich vorfinden, ist bedauerlich, und es wäre wünschenswerth, dass bei einer neuen Auflage der Proben eine eigene, mehrere dieser grossen Schriftzeichen enthaltende Tafel beigegeben würde, weil bei herabgesetzter Sehschärfe diese Lettern natürlich, auch wenn die Prüfung auf 20 oder 10′ vorgenommen wird, häufig in Betracht kommen und das Angeben oder Errathen eines einzigen Buchstaben uns noch keinen berechtigten Schluss in Betreff der Sehschärfe gestattet.

Die Proben werden für die Entfernung vorgenommen und zwar, wenn es nur die Räumlichkeit des Locales erlaubt, gewöhnlich auf 20 Fuss. Würden die Buchstaben XX in dieser Entfernung deutlich erkannt, dann ist nach dem früher Gesagten die Sehschärfe: $S = \frac{20}{20} = 1$. Die Sehschärfe ist normal. Das Auge distinguirt die Buchstaben unter einem Winkel von 5 Minuten.

Sieht ein Auge auf 20′ nur Nr. XXX, dann besteht $S = \frac{20}{30} = {}^2/_3$. Würde dagegen Nr. XV noch auf 20′ erkannt, dann gäbe es eine Seh-

Digitized by Google

schärfe $\frac{20}{15} = 1^1/_3$. Würde XX noch auf 30′ gesehen, dann wäre $S = \frac{30}{20} = 1^1/_2$, würde dagegen auf 20′ nicht einmal 200 gesehen, dann wäre S in jedem Falle $< \frac{20}{200}$, also kleiner als $^1/_{10}$. In dem letzteren Falle müsste das Auge der Tafel nähergebracht werden und würde z. B. erst bei 10′ Abstand das Erkennen der Buchstaben: 200 eintreten, dann wäre $S = \frac{10}{200} = \frac{1}{20}$. Durch diese Ausdrucksweise bekommen wir also sehr bequeme und leicht vergleichbare Werthe für die Sehschärfe. Wenn es in den angeführten Beispielen heisst: Die Sehschärfe ist $^2/_3$, resp. $^1/_{20}$, andererseits wieder $S = 1^1/_3$, resp. $1^1/_2$, so sind diese Werthe eben im Vergleiche mit der im Durchschnitt (nach Snellen) als normal zu betrachtenden S zu nehmen, und es ist insoferne durchaus kein Widerspruch, von einer grösseren als normalen Sehschärfe zu sprechen, da Snellen nicht die grösste Sehschärfe, die er überhaupt je beobachtet, als $S1$ aufstellte, sondern vielmehr jene, wie sie einem Auge zukommen kann, ohne dass seiner Ansicht nach dieselbe als pathologisch herabgesetzt angesehen werden müsste.

Snellen führt endlich noch folgende Bezeichnungen ein. Da von einander stehende Finger, vor einen dunklen Hintergrund gehalten, ungefähr der Schrift 200 gleich kommen, so kann das Zählen der Finger dem Erkennen von Nr. 200 gleich gesetzt, daher, wenn Finger z. B. auf 5′ gezählt werden, S als $\frac{5}{200}$ betrachtet werden. Da ferner ein normal sehendes Auge die Bewegung der Hand vor dunkler Fläche noch auf 1000′ wahrnimmt, so kann, wenn Bewegung der Hand etwa nur noch auf 2′ Abstand gesehen wird, $S = \frac{2}{1000}$ angenommen werden. Ist nur noch quantitative Lichtempfindung vorhanden, „muss folglich der Sehwinkel unendlich gross gemacht werden," so schreibt Snellen in solchem Falle „der Kürze wegen" $S = \frac{1}{\infty}$; endlich wird $S = 0$, wenn selbst quantitative Lichtempfindung fehlt. Hier wollen wir aufmerksam machen, dass so wenig als wir die letzten Brüche $\frac{5}{200}$, $\frac{2}{1000}$ kürzen, ebenso wenig die bei der Bestimmung der Sehschärfe überhaupt gewon-

Digitized by Google

nenen Werthe gekürzt werden, indem, wenn wir schreiben: $S = \frac{20}{30}$ damit nicht blos gesagt ist, dass S $^2/_3$ besteht, sondern gleichzeitig, dass die Sehprüfung an Nr. XXX, das auf 20′ erkannt ward, vorgenommen wurde, die Angabe daher an der betreffenden Probe controlirt werden kann. Ferner muss bemerkt werden, dass Snellen's Werthe für Pariser Mass genommen sind. Wenn also $S = \frac{20}{20}$ ist, wobei der Zähler des Bruches 20 Pariser Fuss bedeutet, so ist dieser Werth grösser, als wenn wir, die wir die Abstände in Wiener F. abgemessen haben, den gleichen Werth schreiben. Noch mehr tritt die Differenz in den englischen und nordamericanischen Angaben, bei welchen der englische Fuss zu Grunde liegt, hervor, doch ist dieselbe selbst da nur unbedeutend. Immerhin wollen wir aber hier in's Gedächtniss rufen, dass 20 Pariser Fuss = *c.* $20^1/_2$ W. F. = *c.* $20^3/_4$ Preuss. F. = *c.* $21^1/_3$ Engl. F. sind, daher die Untersuchungen mit Rücksichtnahme auf die genannten Werthe vorgenommen werden sollten.

In Snellen's Schriftscalen finden sich ausser den Probebuchstaben auch zusammenhängende Leseproben, über denen gleichfalls eine Zahl, die Pariser Fusse bedeutet, die Entfernung angibt, in der sie unter einem Winkel von 5′ erscheinen, und für Diejenigen, welche lateinische Buchstaben nicht kennen, kann man daher die Sehschärfe an Schrift XX prüfen, doch muss bemerkt werden, dass wie der Versuch zeigt, die quadratischen, weit von einander abstehenden Buchstaben XX leichter erkannt werden, als die Schrift XX, deren Worte aus zu eng aneinander stehenden Lettern gebildet werden, gelesen wird. Wenn z. B. auf 20′ Buchstaben XX sicher angegeben werden, wird Schrift XX nur auf eine Entfernung von 16′ sicher gelesen. Dieses Verhältniss der Erkennbarkeit der Buchstaben zu jener der Schrift von 20:16 ist bei Sehproben wohl zu berücksichtigen. Weiters ist in der englischen Ausgabe (warum nicht auch in der deutschen?) für Solche, welche gar nicht lesen können, eine Tafel beigegeben, welche statt der Buchstaben leicht zu beschreibende Zeichen in derselben Grössenanordnung, wie die Buchstabentafel enthält, und wenn gleich auch diese Zeichen nicht so gewählt sind, dass die Erkennbarkeit für alle gleich gross wäre, so ist dieselbe doch sehr praktisch und wir müssen bei unseren klinischen Patienten einen weit ausgedehnteren Gebrauch von derselben, als von der Buchstabentafel machen. Endlich enthält Snellen's letztgenannte Ausgabe auch noch die einfachsten Sehproben, nämlich Gruppen von

Digitized by Google

rundlichen Tüpfeln, schwarze auf weissem und weisse auf schwarzem Grunde, die auf 54′ unter einem Winkel von 1′ erscheinen.

Wir zollen den Sehproben Snellen's, wenn überhaupt Buchstaben zu Sehprüfungen verwendet werden sollen, unbedingtes Lob. Wenn auch die technische Ausführung vielleicht noch Manches zu wünschen übrig lässt, im Grossen und Ganzen erfüllen sie ihren Zweck.

Der Einwurf, dass die ungewöhnliche Formen der quadratischen lateinischen Buchstaben schwer erkennbar seien, ist nicht stichhaltig. Ich habe in dieser Richtung noch keinen Anstand gehabt — natürlich bei Leuten, die überhaupt lateinische Buchstaben kennen. Für Jene, die es bis zu dieser Bildungshöhe nicht gebracht haben, ist die Zeichentafel da. Die deutsche Schrift XX ist, wie wir sahen, den Buchstaben nicht gleichwerthig, und ist auch die grösste der Schriftproben, es sind also keine Analoga für die Buchstabenreihen von XXX aufwärts vorhanden, sie wird desshalb im Allgemeinen nicht verwendet, doch werden wir bald entsprechende Schrifttafeln kennen lernen.

Eine Frage ist zu entscheiden, und die geht dahin, ob das von Snellen angenommene Mass für die normale Sehschärfe das richtige ist. Eines können wir sofort aussprechen, zu gross ist das Mass nicht. Ist es aber nicht zu klein? Man sollte glauben: nein, wenn man bedenkt, dass ja die physiologischen Experimente auch beiläufig einen Winkel von 1 Minute, resp. 50 Sekunden als kleinsten im Durchschnitte ergeben haben.

Allein mit dem Erkennen von Buchstaben, und auch von Zeichen, die nicht aus Punkten, sondern aus Strichen zusammengesetzt sind, hat es sein eigenes Bewandtniss. „Es ist“ sagt Aubert, „sehr schwierig, sich dessen bewusst zu werden, was man bei der Wahrnehmung eines Buchstaben wirklich sieht und was man aus der Vorstellung ergänzt.“ „Das vermittelnde Glied zwischen Vorstellung und Sinneseindruck scheint mir zum Theile in den Bewegungen unseres Auges liegen zu können“ und „desshalb dürfen wir keine Schlüsse aus der Wahrnehmbarkeit von Buchstaben direct auf die Grösse der Netzhautelemente machen.“

Ebenso ist Helmholtz geneigt, die unverhältnissmässig leichte Erkennbarkeit von Buchstaben dem Umstande zuzuschreiben, dass „bei Bewegungen des Auges das Bild eines Buchstaben sich nach einander auf verschiedenen Gruppen von Zapfen und in relativ verschiedener Lage zu den einzelnen Zapfen abbilden kann.“

Indem wir einfach das Factum der verhältnissmässig leichten Erkennbarkeit von Buchstaben und Zeichen gegenüber discreten Punkten

Digitized by Google

constatiren, ohne uns auf eine physiologische Erklärung einlassen zu wollen, begreifen wir demnach, dass Jener, der Nr. XX auf 20′ erkennt, wie schon früher angedeutet wurde, lange nicht im Stande ist, einzelne Punkte mit einem Abstand von 1 Minute zu unterscheiden. Am klarsten kann man sich dies an Snellen's Sehproben selbst vergegenwärtigen. Wenn man die oben erwähnte Tafel von Snellen, welche Gruppen von schwarzen runden Punkten auf weissem Grunde enthält, derart dass der Durchmesser, so wie der gegenseitige Abstand der letzteren in einer Entfernung von 54′ unter einem Winkel von 1′ erscheint, prüft und damit z. B. die Buchstaben- oder Zeichenreihe XX vergleicht, so kommt man zu dem Resultate, dass Jemand, der die Buchstaben XX auf 20′ vollkommen scharf sieht, ja dieselben selbst noch auf dreissig Fuss zum Theile richtig angibt, ich sage, dass dieser, der also doch die Punkte der Tüpfelgruppen wenigstens auf 54′ zu zählen im Stande sein sollte, dies nur auf fünfunddreissig Fuss zu thun vermag. Es ist also ein grosser Irrthum, derartige Sehproben parallelisiren zu wollen, und sowie aus dem eben Erwähnten hervorgeht, dass ein scharfsichtiges Auge unter gewöhnlichen Bedingungen lange nicht unter einem Gesichtswinkel von 1′ zu sehen braucht, um die Prüfung mit den Snellen'schen Buchstabenproben zu bestehen, ja sogar eine grössere Sehschärfe als 1 darzubieten, drängt sich andererseits die Frage auf, ob unter solchen Umständen die Distanzen, in welchen die Snellen'schen Proben vom Auge mit normaler Sehschärfe erkannt werden sollen, nicht zu klein sind. Wir dürfen, wie schon Anfangs erwähnt, nicht Extreme in Betracht ziehen. So handelt es sich sicher um eine aussergewöhnliche Sehschärfe, wenn Joy Jeffries [1]) angibt, dass er Nr. VIII Snellen noch auf 20′ grösstentheils zu erkennen, Nr. XV Snellen auf 32′ „fluently" zu lesen und Nr. XX noch auf 53′ zu entziffern im Stande sei! Freilich vergisst Jeffries dabei auf den Unterschied zwischen dem Pariser und dem englischen Mass (auf welch' letzteres sich sicherlich seine Angaben beziehen), aber 53 engl. Fuss sind noch immer *c.* 49 P. F. und das ist in der That für den vorliegenden Fall eine riesige Zahl. Wäre die Sehschärfe im Durchschnitte so gross, wie die angeführte, dann wäre die Snellen'sche Ausdrucksweise natürlich vollkommen unbrauchbar. Die genannte Sehschärfe ist aber eine Ausnahme. Andererseits ist es jedoch sicher, dass wir das Snellen'sche Mass als das an der äussersten Grenze des normalen stehende ansehen müssen, denn Snellen's Buchstabenreihe XX wird

[1]) Transactions of the Amer. ophthalm. society. New-York 1869. pag. 44.

Digitized by Google

von einem wirklich in Betreff der Sehschärfe normalen jugendlichen Auge in der Regel in einer grösseren Entfernung als 20′, nicht selten auf 30′ sicher gelesen. Trotz der letzteren Thatsache aber sind die vergleichenden Untersuchungen noch nicht so weit gediehen, dass wir heute schon berechtigt wären, die Snellen'sche Sehschärfe $\frac{20}{20}$ als pathologisch gering anzusehen, und ein grösseres Mass als Normalmass an ihre Stelle zu setzen.

Wir werden sicherlich durch das Festhalten an Snellen's Normalmass in vielen Krankheitsfällen irregeführt, in denen wir noch $S = \frac{20}{20}$ finden und desshalb die Sehschärfe für normal erklären, während sie doch gut um ein Dritttheil gesunken sein kann, da $S \frac{30}{20}$, wie eben erwähnt, nicht zu den Seltenheiten gehört. Aber, wir wiederholen, wir können gegenwärtig doch noch nicht dem Masse Snellen's ein anderes substituiren, weil die in Rede stehende Frage noch nicht soweit gelöst ist, um mit Bestimmtheit Snellen's Mass im Durchschnitte als zu gering hinzustellen.

Den ersten Schritt zur endgiltigen Lösung hat, wie wir sehen werden, zwar bereits Vroesom de Haan gemacht, aber die Anzahl der von ihm untersuchten Augen ist für den vorliegenden Zweck eine viel zu geringe. Tausende und aber tausende normaler Augen jugendlicher Individuen von 18—25 Jahren müssten bei einem bestimmten Beleuchtungsgrade in Betreff ihrer Sehschärfe untersucht werden, um zu einem sichern Resultate zu gelangen. Es ist dies allerdings eine sehr langwierige und ermüdende Arbeit, deren Ausführung jedoch durch eine von mir ausgehende Initiative gesichert ist.

Bis das Problem in der angedeuteten Weise gelöst sein wird, bleibt uns vorläufig nichts anderes übrig, als die Snellen'sche Bezeichnungsweise beizubehalten, wobei wir aber die gefundenen Werthe vor Allem mehr als relative, denn als absolute Masse in Betracht ziehen, und wenn ein jugendliches Individuum bei guter Beleuchtung auf keine grössere Entfernung als auf 20′ die Buchstaben XX anzugeben vermag, die Sehschärfe zwar noch als normal, aber an der Grenze des Normalen stehend betrachten.

Nur langsam schreiten wir in dem wichtigen Capitel über Sehschärfe vorwärts, und doch haben wir noch so Vieles zu überwinden. Zunächst muss über die Jäger'schen Schriftscalen, die ältesten und ersten ihres Genres, und dann über die neuesten Proben von Burchardt

Digitized by Google

und Böttcher Etwas gesagt werden. Bei den Jäger'schen Scalen, bei welchen bisher nicht angegeben ist, in welchem Abstande die einzelnen Schriften vom normalsichtigen Auge erkannt werden sollen, hat sich doch bereits durch langjährigen Gebrauch ich möchte sagen eine beiläufige Regel selbst gebildet.

Sowie wir für die Sehprüfungen auf Distanz uns der Snellen'schen Proben bedienen, so werden andererseits bei den Prüfungen für die Nähe in der Regel die Jäger'schen Scalen in Anwendung gezogen. Die grosse Auswahl in ihnen erlaubt sehr gute relative Angaben. Indem wir durch Erfahrung wissen, dass die Jäger'sche Schrift Nr. 1 von einem normalsichtigen Auge auf 15" leicht gelesen werden muss, haben wir hierin ein Mass an die Anforderung der Sehschärfe des Normalauges und falls es heisst, es wird auf 8" z. B. nur noch Jäger Nr. 8 oder 16 oder 23 gelesen, so gibt das Demjenigen, der sich in die Jäger'schen Proben hineingelebt hat, einen sehr guten relativen Anhaltspunkt. Wer übrigens den Snellen'schen ähnliche, mehr absolute Werthe mit diesen Proben erhalten will, der scheue nicht die Mühe, direct zu prüfen, bis zu welcher Entfernung dieselben von einem normalsehenden Auge sicher erkannt werden. Zehender hat sich die Mühe genommen, die Höhe der Buchstaben der einzelnen Jäger'schen Schriftproben zu messen und daraus die Entfernungen zu berechnen, in welchen dieselben beiläufig unter einem Winkel von 5' erscheinen, um sie so den Snellen'schen Buchstaben zu parallelisiren. Diese Methode führt aber nicht zu richtigen Resultaten. Wie Snellen selbst den Fehler beging, seine Schrift XX den Buchstaben XX gleichzustellen, während die Schrift die Zahl XVI führen sollte, ebenso und aus demselben Grunde stehen die von Zehender gewonnenen theoretischen Befunde mit den Erfolgen der praktischen Prüfung in Widerspruch. Während z. B. die Schrift 18 Jäger nach Zehender noch auf 30', Schrift 17 auf 24' erkannt werden sollte, wird die erstere Schrift von einem Auge, das Snellen's Buchstaben XX auf 20' liest, auch nur auf 20' erkannt, Schrift 17 aber auf diese Distanz noch nicht gelesen. Da wir uns bei der physicalischen Untersuchung der Augen jede mögliche Erleichterung angedeihen lassen sollen, so ergreife ich diese Gelegenheit, besonders darauf aufmerksam zu machen, dass die Jäger'sche Schrift 18 den Buchstaben XX Snellen eben entspricht, und sich daher für Sehschärfebestimmungen mit Snellen'schen Werthen vollkommen in den Fällen eignet, in welchen Snellen's Buchstaben nicht zu Gebote stehen oder nicht gekannt werden. Zu diesem empirischen Werthe der Schrift 18 Jäger ist übrigens schon Karst gelangt, der 17 und 18 Jäger

Digitized by Google

= XX Snellen setzte, der auch für die übrigen Schriftproben Jäger's auf empirischem Wege die entsprechenden Snellen'schen Werthe bestimmte. Für die Bestimmung der Sehschärfe in die Ferne ist es gut noch weiterhin zu wissen, dass nach Karst J. 19 = Sn. XXX, J. 20 = Sn. L, J. 21 = Sn. LXX. und J. 22 = Sn. C ist.

Burchardt hat aus manchen Gründen, vor allem aus Rücksicht für Jene, die nicht lesen können, sich gegen Buchstaben- und Schriftproben ausgesprochen, und wiewohl er in dieser Hinsicht Snellen's Zeichentafel, die diesem Zwecke dient, nicht berücksichtigt, und wiewohl manche der angeführten Gründe nicht stichhaltig sind, so ist doch das von ihm vertretene Princip vollkommen richtig.

Er kehrt nämlich zu den einfachsten Sehproben, den internationalen schwarzen runden Tüpfeln von bestimmtem gleich grossem Durchmesser und eben so grossem gegenseitigem Abstande zurück. Um die einzelnen Grössenabstufungen mathematisch genau zu erzielen, wurden die Punktproben auf photographischem Wege hergestellt. Was die Brauchbarkeit solcher Proben bei Prüfungen für die Ferne, in welcher wir *S* bestimmen, anlangt, so wäre gegen dieselben zunächst nur geltend zu machen, dass wenn man eine Anzahl unregelmässig angeordneter Punkte auf grössere Entfernung zählen soll, wobei also der Finger nicht beim Zählen auf jeden Punkt gelegt werden kann, dies sonderbarer Weise eine gewisse Intelligenz erfordert, deren Mangel bei Kindern und vielleicht nicht minder bei Erwachsenen die Anwendung gerade solcher einfachen Fernproben ein wenig erschwert. Speciell die Burchardt'schen haben aber zwei wesentliche Fehler, einen sachlichen und einen technischen. Der sachliche ist der, dass als Mass für die Sehschärfe ein zu grosser Gesichtswinkel zu Grunde gelegt wird, nämlich ein solcher von 2·15 Minuten. So richtig es ist, wie wir sahen, bei solchen Proben nicht von einem Winkel von 1 Minute auszugehen, so unrichtig ist es, ihn mehr als doppelt so gross zu machen. Als Erläuterung genüge zu bemerken, dass ein Auge, welches die Buchstaben XX Snellen auf 20′ eben erkennt, noch mit Leichtigkeit auf diese Distanz die Punktgruppen, die auf 500 Centimeter = kaum 16 P. F. erkannt werden sollen, auflöst, dass also eine Sehschärfe 1 nach Snellen wenigstens *S* 1¼ nach Burchardt ist, und da die erstere schon als am Rande der normalen stehend zu betrachten ist, so muss das von Burchardt aufgestellte Mass als pathologisch angesehen werden. Dazu kommt, dass, würde nicht ein technischer Fehler mit unterlaufen, die Sehschärfe bei diesen Proben noch grösser ausfiele.

Digitized by Google

In Folge der Herstellung der Tafeln auf dem Wege der Photographie ist (wenigstens in den von mir gesehenen Exemplaren) der Grund nicht rein weiss, sondern grau, und was das Schlimmste ist, die Dunkelheit des Grundes ist nicht auf allen Tafeln eine gleichmässige, sondern nimmt um so mehr zu, je feiner die Punktgruppen werden. Dadurch sind die so hergestellten Proben auch für relative Bestimmungen nicht ganz gut zu verwenden, weil, da die Helligkeitsdifferenz zwischen den schwarzen Punkten und ihren Zwischenräumen immer geringer wird, je kleiner die Proben werden, es immer grösserer Sehschärfen zur Auflösung der Punktgruppen in der bestimmten Entfernung bedarf. Drei Augen z. B., von denen das eine Nr. 500 auf 500 Centimeter, ein zweites Nr. 50 auf 50 und ein drittes Nr. 25 auf 25 Cent. eben noch sicher auflösen würde, hätten durchaus keine gleiche Sehschärfe, es wäre vielmehr S des letzten Auges die grösste, die erstere die geringste.

Dieser letztere technische Fehler entfällt in den nicht photographirten geometrischen Sehproben Böttcher's. Böttcher stellt merkwürdiger Weise genau dasselbe geringe Mass für die Sehschärfe wie Burchardt auf, wählt aber zur Prüfung statt runder Tüpfel kleine Quadrate und Rechtecke, von denen abwechselnd 3, 4, oder 5 aber nie mehr als 5 in einer Gruppe sich finden, während Burchardt, um das Errathen zn erschweren, doch bis zu sieben in der Gruppe geht. In Anbetracht, dass die schwarzen Gruppen Böttcher's sich gegen das weisse Papier besser abheben, als Burchardt's Tüpfel gegen die mehr graue Uuterlage, in weiterem Anbetracht, dass die Böttcher'schen Zeichen wegen ihrer gröseren, zum Theile linearen Form leichter erkennbar sind, als die runden Tüpfel, erklärt es sich, dass die gleichbezeichneten Proben Burchardt's und Böttcher's nicht gleichartig sind. Böttcher's Nr. L (= Burchardt's 500) wird auf eine wesentliche grössere Distanz aufgelöst, als letzteres, woraus hervorgeht, dass, wiewohl nach demselben Princip construirt, die Böttcher'schen Proben eine noch geringere Anforderung an die Sehschärfe, als die Burchardt'schen stellen, daher noch weniger stricte Ergebnisse liefern.

Die gewonnenen Resultate in Betreff der praktischen Prüfung der Sehschärfe sind folgende:

1. Die Sehschärfe-Prüfung wird in der Regel an entfernten Objecten vorgenommen.

2. Als solche erweisen sich am geeignetsten die lateinischen quadratischen Buchstaben Snellen's von Nr. XX aufwärts und die gleichwerthigen Zeichen Snellen's.

Digitized by Google

3. Bei der Prüfung mit zusammenhängender Schrift ist Jäger Nr. 18 = XX (Buchstaben Snellen) nebst den noch grösseren Jäger'schen Proben in Anwendung zu ziehen.

4. Burchardt's und Böttcher's geometrische Sehproben wären erst nach richtiger Feststellung der Distanz, in welchen dieselben von einem mit Sehschärfe $\frac{20}{20}$ Snellen behafteten Auge sicher aufgelöst werden, zu verwenden und dann die Punktproben (bei Vermeidung technischer Fehler) den Böttcher'schen vorzuziehen.

5. Bei Sehprüfungen in der Nähe, besonders angewendet bei bedeutend herabgesetzter Sehschärfe; zur raschen Beurtheilung der Steigerung oder Verringerung des Sehvermögens im Verlaufe eines Augenleidens; bei der Auswahl von Brillen für die Nähe eignen sich wegen ihrer zahlreichen Abstufungen besonders Jäger's Schriftscalen, umsomehr als die Schriftproben Snellen's den mit der gleichen Zahl bezeichneten Buchstabenproben nicht gleichwerthig sind. Für Jene, welche nicht lesen können, würden sich hierzu Burchardt's Punktproben, hinlänglich sauber ausgeführt, gut eignen, da die den Jäger'schen Scalen beigegebene Strichscala eben wegen ihrer Zusammensetzung aus Strichen nicht so gut entspricht.

6. Zum Schlusse muss noch einmal scharf hervorgehoben werden, dass es vollkommen unrichtig ist, Punktgruppen, zusammenhängende Schrift und einzelnstehende Buchstaben in Betreff ihrer Erkennbarkeit gleichstellen zu wollen. Am leichtesten werden einzelne Buchstaben, schwerer zusammenhängende Schrift, wie sie in den gegenwärtigen Schriftproben vorliegt, am schwersten Punktgruppen erkannt. Während für Punktgruppen ein normalsehendes Auge eines Winkels von beiläufig $1^1/_2$ Minute bedarf (der Winkel von 1 Minute [Snellen] ist viel zu klein, jener von $2^1/_7$ Minuten [Burchardt] ist viel zu gross), erkennt dasselbe Auge zusammenhängende Schrift unter einem Winkel von $1^1/_4$ Minuten und braucht für die quadratischen Buchstaben Snellen's einen Winkel von kaum 1 Minute. Es sind, wie schon früher angedeutet, Untersuchungen im Zuge, um durch eine grosse Anzahl von Bestimmungen den Winkel genau festzusetzen, unter welchem ein normalsichtiges Auge einzelne Punkte differenzirt, und ebenso empirisch festzustellen, unter welchem Winkel zusammenhängende Schrift und einzelne Buchstaben erkannt werden. Bis zur Publication der in Rede stehenden Versuchsergebnisse kann an den von mir soeben gegebenen ungefähren Massen festgehalten werden.

Digitized by Google

Neunte Vorlesung.

I. Einfluss der Beleuchtung und des Alters auf die Sehschärfe.
II. Einfluss der Myopie und Hypermetropie auf die Sehschärfe.

I.

Die Sehschärfe wird bei sonst gesundem Auge, das wir auch von optischen Fehlern freisprechen wollen, einerseits von der Beleuchtung, andererseits vom — Alter des Individuums beeinflusst.

In ersterer Beziehung (wir wollen von dem Einflusse der verschiedenen Qualität der Beleuchtung ganz absehen) braucht nicht erst bemerkt zu werden, dass die Sehschärfe mit Abnahme der Beleuchtung sinkt.

Das Gesetz, nach welchem Dies geschieht, ist noch unbekannt. Eine hieher gehörige mehr als hundertjährige, durch Citirung schon förmlich maltraitirte Angabe von Seiten Tobias Mayer's hat keinen Anspruch auf Berechtigung. In neuerer Zeit wurde diese Frage in jener Hinsicht, wie sie gerade den Augenarzt interessiren würde, nur sehr wenig ventilirt.

Förster[1]) kam (1857) durch eine Reihe von Versuchen zu dem Resultate, dass, je kleiner der Gesichtswinkel ist, desto grösser die Helligkeit sein müsse, wenn noch eine Wahrnehmung zu Stande kommen soll. Gesichtswinkel und Helligkeit ergänzen sich gegenseitig. Bei Aubert, welcher ausgedehnte Versuche über den Einfluss des Gesichtswinkels auf die Empfindbarkeit von Helligkeitsunterschieden machte, finden wir einen dem Förster'schen analogen Versuch, der hierher gehört und der auch den Weg anzeigt, auf welchem die Frage vom Zusammenhange der Beleuchtung mit der Sehschärfe, wenigstens in einer für den Ophthalmologen, wenn nicht gerade für den Physiologen, genügenden Weise gelöst werden könnte. Es handelt sich nur darum, die Sehschärfe bei verschiedenen messbaren Beleuchtungsgraden in der gewöhnlichen Weise zu bestimmen und dann zu sehen, in welcher Weise dieselbe mit der Abnahme der Beleuchtung sinkt. In Aubert's Dunkelkammer ist in den Ausschnitt eines an den Fensterrahmen befestigten Brettes eine Scheibe von mattem, weissem, gleichmässig geschliffenem, sehr sorgfältig gereinigtem Glase eingelassen, welche unmittelbar von einem Diaphragma bedeckt ist, das dazu dient, die Grösse der Lichtquelle, d. i. der vom diffusen Tageslichte beschienenen Glasplatte beliebig zu

[1]) Ueber Hemeralopie etc. Breslau pag. 1.

Digitized by Google

verändern und zu messen. Die Oeffnung des Diaphragmas kann von 400 Quadratcentimeter bis auf Null verkleinert werden. Nimmt man die Untersuchungen nur bei wolkenlosem Himmel und ungefähr bei gleichem Stande der Sonne vor, dann hat man es immer mit der gleichen Grösse der absoluten Helligkeit zu thun. Nachdem der Untersuchende sein Auge zunächst in der Dunkelkammer für die Finsterniss gehörig adaptirt hat, stellt er sich in eine bestimmte Entfernung von den Snellen'schen oder reducirten Jäger'schen Tafeln, die parallel zu der matten Glastafel angebracht sind. Es wird dann zunächst die kleinste Oeffnung des Diaphragmas (bei Aubert eine solche von 2·5 M^m. Seite) eingestellt, dabei die sich ergebende Sehschärfe notirt; dann die Oeffnung successive erweitert, immer die entsprechende Sehschärfe angemerkt, bis das Diaphragma eine solche Oeffnung zeigt, dass die gefundene Sehschärfe der vor Beginn des Versuches in diffusem Tageslichte bestimmten gleich ist. Dieses letztere Postulat ist in Aubert's Versuchen nicht erfüllt, indem die Diaphragmaöffnung nicht hinlänglich erweitert werden kann, so dass seine eigene bei der grössten Diaphragmaöffnung gewonnene S zu jener im diffusen Tageslichte bestimmten sich wie 1:1·6 verhält. Jene Grösse der Lichtquelle nun, bei welcher die Sehschärfe der im Tageslichte gewonnenen gleich ist, ist sowie diese Sehschärfe, als 1 zu bezeichnen, und mit diesen Einheiten sind dann die abnehmenden Grössen der Lichtquelle und der entsprechenden Sehschärfe zu vergleichen. Nimmt man sich die Mühe, die von Aubert an Jäger'schen Proben gewonnenen Resultate[1]) nach Snellen'schen Masse auszudrücken, und bezeichnet man die Lichtquelle von 400 Quadratcentimeter weisser, von diffusem Tageslichte beleuchteter Glasscheibe und die dieser Beleuchtung entsprechende Sehschärfe als 1, dann ergibt sich folgende Reihe:

Grösse der Lichtquelle.		Sehschärfe.		
Helles diffuses Tageslicht		(2·56)	1·6	(Jäger Nr. 5 auf 1 Meter)
1	(400 Quadrat-Centimeter)	(1)	1	(„ „ 9 „ 1 „)
$\frac{1}{1·8}$	(225 „ „ „)	(1)	1 nahezu	(„ „ 9 „ 1 „ mangelhaft)
$\frac{1}{4}$	(100 „ „ „)	$\left(\frac{1}{1·96}\right)$	$\frac{1}{1·4}$	(„ „ 10 auf 1 Meter)
$\frac{1}{6·3}$	(64 „ „ „)	$\left(\frac{1}{2·56}\right)$	$\frac{1}{1·6}$	(„ „ 12 „ 1 „)

[1]) Physiologie der Netzhaut, pag. 84.

Digitized by Google

Grösse der Lichtquelle.	Sehschärfe.
$\frac{1}{11}$ (36 Quadrat-Centimeter)	$\left(\frac{1}{4}\right)$ $\frac{1}{2}$ (Jäger Nr. 13 auf 1 Meter)
$\frac{1}{20}$ (20·25 „ „)	$\left(\frac{1}{4}\right)$ $\frac{1}{2}$ nahezu („ „ 14 „ 1 „)
$\frac{1}{32·7}$ (12·25 „ „)	$\left(\frac{1}{12·25}\right)$ $\frac{1}{3·5}$ („ „ 16 „ 1 „)
$\frac{1}{64}$ (6·25 „ „)	$\left(\frac{1}{25}\right)$ $\frac{1}{5}$ („ „ 17 „ 1 „)
$\frac{1}{177·8}$ (2·25 „ „)	$\left(\frac{1}{56·25}\right)$ $\frac{1}{7·5}$ („ „ 19 „ 1 „)
$\frac{1}{1600}$ (0·25 „ „)	$\left(\frac{1}{156·25}\right)$ $\frac{1}{12·5}$ („ „ 20 „ 1 „)

Die unter der Rubrik Sehschärfe in Klammern stehenden Zahlen sind die Quadrate jener Brüche, in welchen wir die Sehschärfe gewöhnlich auszudrücken pflegen. Vierordt hat nämlich darauf hingewiesen, dass die Sehschärfe sich nicht umgekehrt wie die einfachen Durchmesser des Netzhautbildes, sondern umgekehrt wie deren Quadrate verhält, wie schon die geometrische Beschaffenheit der Netzhautbilder dies verlangt, und stellt daher auch die Ansicht auf, dass man in Anbetracht der quadratischen Sehproben Snellen's die Sehschärfen, welche Snellen z. B. als $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{10}$ bezeichnet, richtiger als $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{100}$ bezeichnen sollte. Dem gegenüber erwiderte Donders gar bald, dass ebenso wenig als Astronomen und Mikroskopiker die Vergrösserungen der Netzhautbilder nach quadratischen Verhältnissen angeben, ebenso wenig eine derartige Ausdrucksweise dem Ophthalmologen zugemuthet werden kann.

Wir stimmen hier Donders im Allgemeinen vollkommen bei, allein bei der Beurtheilung des Verhältnisses zwischen Beleuchtungsgrösse und Sehschärfe dürfte es vielleicht richtiger sein, die Flächenausdehnung des Netzhautbildes statt dessen linearen Durchmessers zu nehmen.

Der Aubert'sche Versuch, in der Weise, wie wir es thaten, verwerthbar gemacht, gibt ziemlich interessante Zahlenresultate, aus welchen allgemeine Schlüsse zu ziehen, jedoch voreilig wäre. Ich habe dem Gegenstande eine so eingehende Besprechung geschenkt, weil ich den angedeuteten Weg für den besten halte, um unter Verwendung diffusen Tageslichtes zu jener Lösung der Frage zu kommen, die über-

Digitized by Google

haupt möglich ist. Ich selbst wurde leider durch Aenderung meines Aufenthaltsortes verhindert, meine in Wien in der genannten Richtung angebahnten Versuche, die mit der Herstellung der Dunkelkammer zu beginnen haben, bisher zur Ausführung zu bringen.

Darum sei hier nur auseinandergesetzt, in welcher Weise wir in praxi zu verfahren haben, um Irrthümer zu vermeiden, welche sich daraus ergeben möchten, wenn wir Sehschärfeprüfungen bei verschiedenen Beleuchtungsgraden vornehmen und dieselben ohne Berücksichtigung der Helligkeitsdifferenzen direct mit einander vergleichen würden.

Wegen der wechselnden Tagesbeleuchtung haben manche Ophthalmologen wie Hasket Derby, Wecker, Javal sich von derselben ganz frei gemacht und verwenden künstliches Licht bei ihren Sehprüfungen in der Art, dass die Tafeln in einem dunklen Zimmer aufgehängt und von einer constant brennenden, stets in einem bestimmten und gleichen Abstande von der Tafel angebrachten Flamme, in der Regel Gasflamme, beleuchtet werden. Es ist gegen diese Procedur am Ende Nichts einzuwenden, aber nothwendig ist sie, ausser es würde das Untersuchungslocal vom Tageslichte nur stiefmütterlich bedacht oder man nähme die Sehprüfungen bei — Nacht vor, gerade nicht, da man auch bei Tagesbeleuchtung den Einfluss derselben auf die Sehschärfe sehr wohl zu beurtheilen in der Lage ist. Hegt man bei dunklerem Wetter die Befürchtung, es könnte die mangelhafte Beleuchtung auf die Sehschärfe nachtheilig wirken, dann constatire man zunächst an der eigenen Sehschärfe, ob dieselbe unter das bei guter Beleuchtung gefundene Mass gesunken sei. So lange dieses nicht geschehen ist, so lange hat auch die Verringerung der Helligkeit keinen Einfluss auf das Unterscheidungsvermögen. Findet man aber die eigene S um ein bestimmtes Mass verringert, dann bringe man dies bei den Prüfungen in Rechnung. Wird z. B. Nr. 20 Snellen, welches bei guter Beleuchtung auf 20′ deutlich erkannt wird, nur noch auf 15 Fuss gut gesehen, dann stelle man den zu Prüfenden 15′ statt 20′ von den Proben ab und gebe natürlich der Zahl 15 die Bedeutung von 20; oder man mache die Proben auf 20′, multiplicire aber die gefundenen Werthe mit $^4/_3$.

Ein sonst normales Auge wird, wie wir sagten, nicht blos von der Beleuchtung, sondern auch noch von einem hievon sehr differenten Momente, nämlich von seinem Alter in Betreff der Sehschärfe beeinflusst. Die Sehschärfe nimmt mit dem Alter des Individuums ab; aber so wenig Beobachtungsreihen vorliegen, welche die Sehschärfe des jugendlichen Auges sicher stellen, ebenso wenig kennt man bisher die Art und Weise dieser Abnahme mit zunehmenden Jahren. Eine schon

Digitized by Google

früher erwähnte Beobachtungsreihe von Vroesom de Haan umfasst nur 281 Individuen aller Lebensalter. Eine solche Zahl ist für die vorliegende Aufgabe viel zu gering. Da müsste man schon über die hundertfache Grösse verfügen können, um zu einem sicheren Resultate zu gelangen. In grossen Städten wäre durch Beiziehung des Materials, welches die Volksschulen, dann die Gymnasien, weiterhin die Kasernen, endlich die Armen- und Siechenhäuser liefern könnten, für gewisse Altersperioden ein derartiges Resultat zu erzielen, für andere (von 30—50 Jahren) würde ein solches Massenaufgebot schon schwerer beizustellen sein. Gelänge es nun auf die eine oder andere Weise festzustellen, dass wirklich einem bestimmten Alter, etwa einem bestimmten Decennium ein bestimmtes besonderes Mass normaler Sehschärfe als Minimum entspricht, dann wäre z. B. die Snellen'sche Tafel so zu numeriren, dass über jeder Reihe die Zahlen ständen, die angeben würden, auf welche Entfernung das Auge je nach dem Alter des Individuums die betreffende Schrift erkennen müsste, um sich des Vorrechtes normaler Sehschärfe zu erfreuen. Es würde dann z. B. die Buchstabenreihe XX etwa so überschrieben sein:

XXV (10—30 J.) XXII (31—40 J.) XX (41—50 J.) XVIII (51—65) XVI (66—80). Der Fehler der Grenzwerthe würde dieser Reihe, wie jeder ähnlichen, zukommen.

Um auf die von Vroesom de Haan gemachten Beobachtungen zurück zu kommen, so fand derselbe, dass die Sehschärfe bis zum 40. Jahre im Mittel etwas grösser als $\frac{20}{20}$, (nämlich $\frac{22\frac{1}{2}}{20} - \frac{22}{20}$ vom 10.—30. Jahre, $\frac{20\frac{1}{2}}{20}$ mit 40 Jahren) ist und dass sie hierauf unter $\frac{20}{20}$ sinkt. Mit 50 Jahren ist $S = \frac{18}{20}$, mit 60 $\frac{14\frac{1}{2}}{20}$, mit 70 $\frac{13}{20}$, mit 80 $\frac{11}{20}$. Die Sehschärfe ist also mit 80 Jahren auf die Hälfte der jugendlichen und nahezu auf die Hälfte der als normal angenommenen $\frac{20}{20}$ gesunken. Wir halten de Haan's Werthe im Allgemeinen für zu gering, namentlich möchten wir aber die Sehschärfen, die er 70 und 80 Jährigen vindicirt, als pathologisch gering ansehen. Einfach in Folge des Alters sinkt die Sehschärfe mit 80 Jahren kaum auf die Hälfte; gesunde Augen solcher Greise zeigen noch, soweit mein verhältnissmässig geringes Beobachtungsmaterial zeigt, eine Sehschärfe $\frac{15}{20}$. Doch

Digitized by Google

entscheiden können endgiltig in dieser Frage wie schon erwähnt nur die Massen.

Was die Ursache der Herabsetzung der Sehschärfe im höheren Alter anlangt, so ist diese als nicht hinlänglich sichergestellt zu betrachten. In der geringeren Durchsichtigkeit der brechenden Medien ist sie sicherlich nicht zu suchen, denn selbst bei Anwendung des unfoliirten Planspiegels lässt sich bei der ophthalmoscopischen Untersuchung weder von einer Herabsetzung, noch von einer Ungleichmässigkeit der Beleuchtung des Augengrundes etwas nachweisen. In Folge dessen ist es wohl sicher, dass der Grund für die Herabsetzung des Unterscheidungsvermögens im nervösen Apparat liegt, aber wo, ob in Veränderungen in der Zapfenlage des gelben Fleckes, ob in jenen der leitenden Sehnervenfasern oder der Nervenzellen des Gehirns, ist unbekannt. Die objective Beobachtung könnte am ehesten noch den Sehnervenfasern die Schuld beimessen, die im gealterten Auge etwas getrübt erscheinen, wodurch die Eintrittsstelle des Opticus den Glanz und die Diaphanität, sowie das scharfe Hervortreten der Details verliert, welche den Sehnerven des jugendlichen Auges charakterisirt. Die drusenartigen Auswüchse der Glaslamelle der Chorioidea, die an der Macula lutea so gut wie gänzlich fehlen, können keinen Einfluss auf die centrale Sehschärfe nehmen und von Altersmetamorphosen der Zapfen des gelben Fleckes ist vorläufig Nichts bekannt.

II.

Wenn wir hiermit die Beeinträchtigung, welche das gesunde normale Auge in Folge herabgesetzter Beleuchtung einerseits und in Folge vorgerückten Alters andererseits in seiner Sehschärfe erfährt, als abgehandelt betrachten, können wir zu der Frage übergehen, durch welche Momente die Sehschärfe pathologisch herabgesetzt wird. Es geschieht dies 1. durch Erkrankung des nervösen Apparates, sei es der Zapfenlage der Netzhaut, sei es der Sehnervenfasern, sei es der Centraltheile des Sehens im Gehirne, wobei jeder einzelne der genannten Abschnitte allein oder in Gemeinschaft oder im Gefolge der übrigen erkranken kann; 2. durch Trübungen der brechenden Medien aller Art mit Einschluss der Pupillarmembranen; 3. durch die eigentlichen Refractionsanomalien, die chromatische und monochromatische Aberration des Auges, welche das Zustandekommen eines vollkommen deutlichen Bildes auf der percipirenden Netzhautschichte verhindern. Indem die Betrachtung der beiden erstgenannten Punkte nicht hierher gehört, ist in Betreff des dritten zu bemerken, dass die Herabsetzung der Sehschärfe, wie

Digitized by Google

sie durch die angeborenen und erworbenen Anomalien der monochromatischen Aberration, d. i. den regulären und irregulären Astigmatismus verursacht wird, in der Lehre von letzterem später zur Sprache kommt, während, wie schon in unserer 3. Vorlesung erwähnt, wir über die Pathologie der chromatischen Aberration bisher nichts Bestimmteres wissen.

Bei jenen Zuständen, die man gewöhnlich als Refractionsanomalien bezeichnet, bei der Myopie und Hypermetropie, kommt es unter Umständen auf eine ganz andere Art zu einer Herabsetzung der Sehschärfe, welche mit der durch die 3 früher erwähnten Momente bedingten durchaus nicht parallelisirt werden kann. Während bei Krankheiten des lichtempfindenden Apparates, bei Trübungen der Medien und den eigentlichen Refractionsanomalien, wenn die genannten Zustände nicht mit Myopie oder Hypermetropie einhergehen, die Netzhaut die verhältnissmässig günstigste Lage zu den Knotenpunkten des Auges hat und durch eine Aenderung dieses Abstandes die Sehschärfe nicht nur nichts gewinnen könnte, sondern verlieren müsste, würde bei der nicht complicirten Myopie oder Hypermetropie einfach eine Lageveränderung der Netzhaut nach vor- oder rückwärts genügen, um dem betreffenden Auge die normale Sehschärfe auf alle Distanzen zu verleihen. Es wird also 1. der Umstand, dass in Folge des abweichenden Standes der Netzhaut, von Objecten, die sich in gewissen Entfernungen vom Auge finden, keine deutlichen Bilder auf der empfindenden Retinalschichte entworfen werden können, es verschulden, dass für diese Entfernungen die Sehschärfe wesentlich leidet.

Die ungewöhnliche Lage der Netzhaut bei Myopie und Hypermetropie hat aber auch 2. für jene Distanzen, in welchen deutliche Bilder entworfen werden können, durch die Alteration der Grösse der letzteren einen Einfluss auf die Sehschärfe.

Endlich wirken 3. noch die Gläser, welche die Stellungsabnormität der Netzhaut corrigiren und das Entstehen deutlicher Bilder veranlassen, auf die Grösse der letzteren und hiedurch wiederum auf die Sehschärfe.

In ähnlicher Weise, wie bei Myopie und Hypermetropie, wird auch bei Accommodationsbeschränkungen, sei es der senilen, die wir als Presbyopie bezeichnen, sei es bei der durch lähmungsartige Zustände des Ciliarmuskels herbeigeführten, die Sehschärfe für gewisse Distanzen durch Undeutlichkeit der Netzhautbilder verringert.

Indem wir in dem vorliegenden Capitel ein übersichtliches Bild über die Sehschärfe entwerfen wollen, haben wir (mit Umgehung der durch Astigmatismus bedingten Verzerrung der Bilder und deren Cor-

Digitized by Google

rection durch cylindrische Gläser) auf die die Myopie und Hypermetropie betreffenden 3 Punkte jetzt näher einzugehen. Es wird sich hierbei die Gelegenheit bieten, manche andere wichtige Verhältnisse zur Sprache zu bringen.

Was den 1. Punkt anlangt, so kann es, wenn wir von dem Kepler'schen Satze, dass zur deutlichen Wahrnehmung eines Objectes ein deutliches und scharfes umgekehrtes Bild desselben auf der Netzhaut zu Stande kommen müsse, ausgehen, nicht schwer sein, die Verminderung der Sehschärfe bei Myopie und Hypermetropie in gewissen Entfernungen zu erklären. Nehmen wir gleich als Beispiel sehr hochgradige Fälle dieser Anomalien. Wenn $M\,1/_3$ besteht, dann wird von jedem Objecte, welches weiter als 3″ vom 1. Knotenpunkte des Auges liegt ein Bild vor der Netzhaut (wir verstehen darunter, wie bekannt, deren percipirende Fläche) zu Stande kommen. Betrachten wir Einen leuchtenden Punkt a dieses Objectes, dann wird dessen Bild in a^1 vor der Netzhaut liegen und dessen Strahlen bilden auf der Netzhaut einen Zerstreuungskreis mit dem Durchmesser xy. Stets dieselbe Weite der Pupille angenommen, wird die Grösse der Zerstreuungskreise vom Grade der Myopie, falls wir dieselbe immer durch Verlängerung der Augenaxe entstanden denken wollen, abhängig sein und mit der Myopie wachsen.

Theoretisch müsste bei $M\,1/_3$ das Erkennen aller Objecte die weiter als 3″ abstehen, aufhören. Nun, undeutlich werden sie in der That alle, wenn die genannte Grenze überschritten wird. Allein gröbere Gegenstände werden doch noch erkannt. Wird die Jäger'sche Schrift Nr. 1 merklich jenseits des Fernpunktes gebracht, dann greifen die Zerstreuungskreise des einen Buchstaben über die des Nachbarn hinüber und mit dem Lesen der Schrift ist es vorbei. Gröbere Schrift kann jedoch noch auf etwas grössere Entfernung gelesen werden, weil hierbei die Zerstreuungskreise des einen Buchstaben wenigstens die der benachbarten nicht merklich stören.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass in Folge einfacher Myopie bei den Sehproben, wie wir sie mit der Snellen'schen Tafel gewöhnlich für die Ferne anstellen, je nach dem Grade der Anomalie eine gewisse Sehschärfe zu Tage treten wird, wiewohl die Objecte stets jenseits des Fernpunktes liegen. Aus dem Grade der Undeutlichkeit der einzelnen Reihen und dem Masse der Sehschärfe kann man schon vor den Gläserproben einen ungefähren Schluss auf die vorhandene Myopie machen. Da man sich mit diesem Gegenstande bisher noch gar nicht beschäftigt hat, so will ich einige diesbezügliche Daten aufführen. Unter der Voraussetzung, dass das

Digitized by Google

myopische Auge normale Sehschärfe hat, ergibt sich bei guter Beleuchtung und normaler Pupillenweite, dass ein Auge mit $M\,^1/_{30}$ noch S $\frac{20}{30}$ hat. Bei $M\,^1/_{14}$ ist S ungefähr $\frac{20}{70}$, bei $M\,^1/_{10}$ $\frac{20}{200}$, bei $M\,^1/_8$ $\frac{10}{200}$, bei $M\,^1/_5$ $\frac{5}{200}$. Ein Auge mit Myopie $^1/_{30}$ erkennt also noch die Buchstabenreihe XXX, ein Auge mit $M\,^1/_{10}$ erkennt auf 20′ nur noch das grosse A (oder E der neuen Snellen'schen Tafel), ein Auge mit $M\,^1/_5$ wird nur noch auf 5′ den Buchstaben Nr. CC eben entnehmen.

Sowie die Sehschärfe des unbewaffneten Myopen jenseits seines Fernpunktes rasch abnimmt, so wird andererseits das hypermetropische Auge, in dem die Bilder hinter die Netzhaut fallen, in allen jenen Entfernungen, in welchen sonst das emmetropische noch deutlich sieht, dies nicht mehr können, für welche es seine Hypermetropie durch Accommodation nicht decken kann. Was speciell die Prüfung in der Ferne betrifft, so wird die Sehschärfe nicht blos von dem Grade der Hypermetropie, wie dies bei Myopie der Fall ist, sondern eben auch von der Accommodationsbreite des betreffenden Auges abhängen, und ist insoferne nicht direct anzugeben.

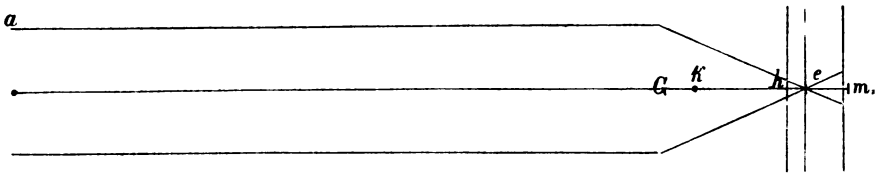
Aber auf einen wichtigen Umstand muss hier aufmerksam gemacht werden. Caeteris paribus, d. h. wenn wir die Sehschärfe nur von der Grösse der Zerstreuungskreise abhängig machen, von der Accommodationskraft des hypermetropischen Auges und dem später (sub 2) aufzuführenden Grössenverhältnisse der Netzhautbilder absehen, bei gleicher Pupillenweite und Beleuchtung, wird ein Hypermetrope eines bestimmten Grades eine grössere Sehschärfe darbieten, als der Myope gleichen Grades, falls Myopie und Hypermetropie auf Aenderungen der Axenlänge des Auges beruhen. Denn es bedarf, um den Fernpunkt aus der Unendlichkeit in einen bestimmten endlichen Abstand hinter den Knotenpunkt des Auges zu bringen, einer geringeren Axenverkürzung, als die Axenverlängerung ist, durch welche der Fernpunkt aus der Unendlichkeit in die gleiche endliche Entfernung vor den Knotenpunkt gerückt wird. Legen wir z. B. das reducirte Auge von Donders zu Grunde, so verwandeln wir dasselbe durch eine Axenverlängerung von 4·89 M^m. in ein Auge mit $M\,^1/_3$, dagegen brauchen wir dasselbe Auge nur um 2·96 M^m. zu verkürzen, um $H\,^1/_3$ vor uns zu haben.

In Fig. 40 sind die Verhältnisse in den wirklichen Grössen dargestellt. *e* ist die Lage der Netzhaut des emmetropischen, *m* des myopi-

Digitized by Google

schen ($M^1/_3$), h des hypermetropischen Auges ($H^1/_3$). Die parallelen Strahlen, welche ein unendlich entfernter Leuchtpunkt a aussendet,

Fig. 40.



würden sich in e sammeln, bilden aber auf h und m einen Zerstreuungskreis. Die Durchmesser der beiden Zerstreuungskreise bei m und h verhalten sich wie 4·9 : 2·96 = 1·6 : 1. Der Durchmesser des Zerstreuungskreises ist also im myopischen Auge um mehr als die Hälfte grösser, als im hypermetropischen, das Bild des ersteren im gleichen Verhältnisse undeutlicher, als das des letzteren Auges.

Endlich ist hier noch zu bemerken, dass unter übrigens gleichen Umständen die Grösse der Zerstreuungskreise von der Weite der Pupille abhängt. Da nun das myopische Auge im Allgemeinen eine weitere Pupille als das hypermetropische des gleichen Alters hat, so folgt daraus, dass die für gleiche Grade der Myopie und Hypermetropie schon bestehende Differenz in der Grösse der Zerstreuungskreise durch diesen Umstand nur noch gesteigert wird.

Der Einfluss der Pupillenweite auf die Grösse der Zerstreuungskreise und hiedurch auf die Sehschärfe gibt sich dadurch kund, dass Myopen und Hypermetropen bei heller Beleuchtung unverhältnissmässig besser, als bei herabgesetzter sehen, so zwar, dass höhergradige Hypermetropen die bei Tage noch eine erträgliche Sehschärfe auf alle Distanzen zeigen, des Abends in Folge der Erweiterung der Pupille für alle Distanzen so schlechtsichtig werden, dass sie mit den Klagen der Hemeralopie sich vorstellen können, eine Thatsache, die ich sonderbarer Weise nirgends erwähnt finde und die zu fehlerhafter Diagnose um so leichter führt, als diese Hemeralopie erst in einem bestimmten Alter des Individuums, wenn der Accommodationsmuskel nicht mehr die nöthige Kraft aufzubringen vermag, um nur halbwegs deutliche Bilder zu ermöglichen, auftritt, und man, wenn man bei der ophthalmologischen Prüfung die Untersuchung des Refractionszustandes versäumt, in Folge des negativen Befundes im Augengrunde wirkliche Hemeralopie vor sich zu haben glaubt, während doch in solchen Fällen ein richtig gewähltes Convexglas die hemeralopischen Erscheinungen sofort verschwinden

Digitized by Google

macht. Ein Myope hohen Grades zeigt dieses Bild nicht, da er auch bei Tage in die Entfernung Nichts sieht und für die Nähe seine Sehschärfe eben nur im Verhältnisse zur Beleuchtung abnimmt.

Der Einfluss der Pupillenweite auf die Sehschärfe bringt es auch mit sich, dass der Myope sowohl als der Hypermetrope für alle Entfernungen, in welche er nicht deutlich sehen kann, seine Sehschärfe in der Art zu verbessern trachtet, dass er durch Zusammenkneifen der Lider die Lidspalte verengert und dadurch die Pupille verkleinert. Es ist also das Blinzeln (*μύειν*) durchaus keine Eigenheit der Myopen, in dieser Hinsicht ist auch der Hypermetrop ein Myope.

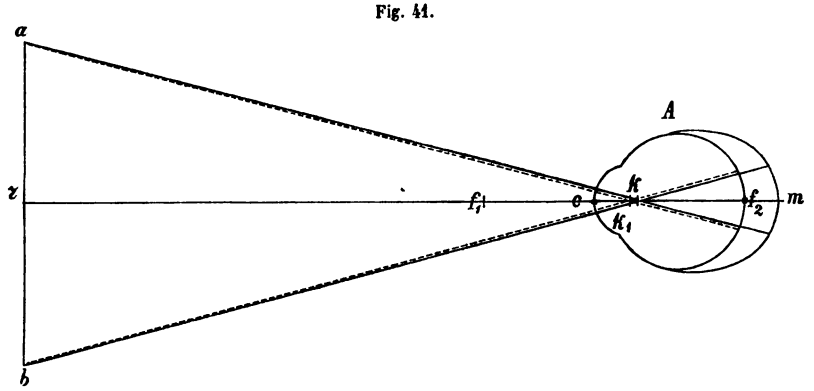
Wir haben früher (pag. 150) sub 2 ferner aufgeführt, dass die ungewöhnliche Lage der Netzhaut bei Myopie und Hypermetropie auf die Grösse der Netzhautbilder einen Einfluss übe. Betrachten wir zunächst diese Grössenänderung in den Fällen, in welchen die Myopie und Hypermetropie, während der dioptrische Apparat des Auges unverändert bleibt, durch Verlängerung, resp. Verkürzung der Augenaxe bedingt ist. Es gibt eine so einfache Formel, meine Herren, um die jedem Grade der Myopie und Hypermetropie zu Grunde liegende Axenänderung zu berechnen, dass ich Sie ersuche, sich dieselbe einzuschärfen. Die vagen Begriffe über Axenänderung des Auges bei *M* und *H* werden schwinden, dadurch dass Sie mit dieser Formel vertraut immer gleich die betreffende Grösse auch in Zahlen auszudrücken im Stande sind — natürlich unter Zugrundelegung der optischen Constanten sei es des schematischen, sei es des reducirten Auge. Die Formel der physiologischen Optik lautet: $l_1\ l_2 = \varphi_1\ \varphi_2$, wobei φ_1 die erste, φ_2 die zweite Hauptbrennweite des Auges bedeutet, l_1 den Abstand des Objectes vom 1. Brennpunkte, positiv zu nehmen, wenn das Object vor, negativ, wenn es hinter dem ersten Brennpunkte gelegen ist, l_2 endlich den Abstand des Bildes des Objectes vom 2. Brennpunkte des Auges, wobei der positive Werth von l_2 bedeutet, dass das Bild hinter dem 2. Brennpunkte entworfen wird, während das negative Zeichen vor l_2 die Lage des Bildes vor dem 2. Brennpunkte anzeigt. Wie wir diese Formel zu unserem Zwecke verwenden, wird gleich klar werden.

Es sei (Fig. 41) *A* (mit der Axe cf_2) das reducirte Auge in seiner natürlichen Durchschnittsgestalt. (Siehe pag. 14.) Demnach beträgt die Länge des mit Wasser erfüllten Auges, welches parallel auffallende Strahlen auf der Netzhaut vereinigt, also auch seine 2. Brennweite φ_2 20 Millimeter, f_2 der 2. Brennpunkt liegt in der Netzhaut, während der 1. Brennpunkt f_1 15 Millimeter vor dem im Scheitel der

Digitized by Google

Krümmungsfläche gelegenen einfachem Hauptpunkte *c* sich findet, die erste Brennweite φ_1 also 15 Millimeter beträgt. Der Knotenpunkt *k*

Fig. 41.



endlich steht 5 Millimeter hinter der brechenden Fläche in deren Centrum. Nun will ich aus diesem Auge durch Axenverlängerung ein Auge mit $M^1/_3$ fabriciren. Ich bringe ein Object *ab* in die Entfernung von 3 P. Z. vom Knotenpunkte des Auges, so dass also $rk = 3$ P. Z. $= 81{\cdot}3$ Millimeter wird und indem jetzt die Lage des Bildes dieses Objectes, welche das in seiner Brechkraft unveränderte Auge entwirft, bestimmt wird, ist damit auch die Lage der Netzhaut des Auges mit $M^1/_3$ gegeben. Diese Bestimmung geschieht mit Hilfe der Formel $l_1\, l_2 = \varphi_1\, \varphi_2$. Da $\varphi_1 = 15$, $\varphi_2 = 20$ M$^{m.}$, so ist $\varphi_1\, \varphi_2 = 300$, $l_1 = rf_1 = rk - f_1\, k$ $= 81{\cdot}3 - 20 = 61{\cdot}3$, daher $l_2 = 300 : 61{\cdot}3 = 4{\cdot}89$ M$^{m.}$. Das Bild von *ab* liegt also $4{\cdot}89$ M$^{m.}$ hinter f_2 und wenn ich demnach die Augenaxe um $4{\cdot}89$ M$^{m.}$ bis *m* verlängere, so wird nunmehr das Auge das Postulat erfüllen, von einem 3″ vor dem Knotenpunkte gelegenen Objecte (ohne Aenderung seiner Brechkraft) ein Bild auf der Retina zu entwerfen. Das Auge, welches $M^1/_3$ darbietet, hat also eine Länge von $24{\cdot}89$ M$^{m.}$ und seine Netzhaut steht vom Knotenpunkte *k*, der seinen Ort nicht verlassen hat, $19{\cdot}89$ M$^{m.}$ ab.

Handelt es sich anderseits darum, die Verkürzung, welche einem bestimmten Grade von Hypermetropie entspricht, zu berechnen, so muss bedacht werden, dass bei *H* der Fernpunkt hinter dem Knotenpunkte des Auges liegt, also z. B. bei $H^1/_3$ $81{\cdot}3$ M$^{m.}$ hinter *k*. l_1 ist in dem Falle negativ und sein Werth, d. i. der Abstand des Fernpunktes *r* von f_1 ist gleich $rk + kf_1 = 81{\cdot}3 + 20 = 101{\cdot}3$. Wir erhalten: $-\, l_1\, l_2 = 300$, $l_2 = 300 : -\, 101{\cdot}3 = -\, 2{\cdot}96$ M$^{m.}$, d. h. wenn wir das reducirte Auge um $2{\cdot}96$ M$^{m.}$ verkürzen, so bietet es $H^1/_3$ dar.

Digitized by Google

Bezeichnet x ganz allgemein den Abstand des Fernpunktes vom Knotenpunkte bei Myopie oder Hypermetropie in Millimetern ausgedrückt [1]), dann ist, unter Zugrundelegung des reducirten Auges, die dem betreffenden Grade von Myopie entsprechende Axenverlängerung $l_2 = \frac{300}{x-20}$, während die dem durch $\frac{1}{x}$ ausgedrückten Grade von Hypermetropie zukommende Axenverkürzung: $-l_2 = \frac{300}{x+20}$ zu setzen ist.

Nimmt man statt des reducirten das schematische Auge als Basis, dann ist (siehe pag. 13) $\varphi_1 = 14{\cdot}858$, $\varphi_2 = 19{\cdot}875$, $\varphi_1 \varphi_2 = 295{\cdot}302$. Die Grösse $f_1 k_2$, die hier in Betracht kommt, beträgt 19·875 M^m. (= φ_2).

Die Formel geht über für Myopie: $l_2 = \frac{295{\cdot}302}{x - 19{\cdot}875}$

für Hypermetropie: $-l_2 = \frac{295{\cdot}302}{x + 19{\cdot}875}$

Nach diesen Formeln ist für $M^1/_3$: $l_2 = 4{\cdot}81$ M^m.

für $H^1/_3$: $-l_2 = 2{\cdot}92$ M^m.

Die nach den einfachen Formeln gefundenen Werthe differiren also um einige Hunderttheile eines Millimeters von jenen, welche man mit Hilfe der für die Rechnung umständlicheren erhält.

In welcher Weise beeinflusst die Axenänderung die Bildgrösse? Berechnen wir (Fig. 41) die wirkliche Grösse des Bildes in unserem Auge mit $M^1/_3$, so verhält sich b (die Grösse des Objectes) zu β (der Grösse des Bildes), wie $rk:km = 81{\cdot}3:19{\cdot}89$, daher $b:\beta = 4{\cdot}087:1$ und folglich $\beta = \frac{1}{4{\cdot}087}\, b$. Mit diesem absoluten Masse der Bildgrösse haben wir aber wenig gewonnen. Wir müssen fragen, wie gross ist dieses Bild im Vergleiche mit dem vom emmetropischen Auge von demselben Objecte gewonnenen Bilde. Kann aber das emmetropische Auge von dem Objecte ab überhaupt ein deutliches Bild auf der Netzhaut entwerfen? Die Antwort lautet: ja, wenn nur das betreffende Auge ein ganz jugendliches ist, das noch für einen 3″ entfernten Punkt accommodiren kann. Da das Auge bei der Accommodation seine Länge nicht ändert, so muss auch im reducirten Auge die Accommodation durch Krümmungszunahme der brechenden Fläche herbeigeführt werden.

[1]) 1 Pariser Zoll = 27·1 M^m.

Digitized by Google

Wenn wir nun im reducirten Auge nichts weiter ändern, als dass die Krümmung der brechenden Fläche statt eines Halbmessers von 5 M$^{m.}$ einen solchen von 4·18 M$^{m.}$ erhält, der Knotenpunkt k also um 0·82 Millimeter nach k_1 vorrückt, so wird jetzt von r, welcher Punkt 81·3 Millimeter von k, also 76·3 M$^{m.}$ von c absteht, in f_2 ein deutliches Bild entworfen. Zur Berechnung dieser Veränderung kann man die Formel verwenden: $\frac{n_1}{a} + \frac{n_2}{\alpha} = \frac{n_2 - n_1}{\varrho}$ [1]), wobei a den Abstand des leuchtenden Punktes von der brechenden Fläche, α den Abstand des Bildes von derselben, n_1 den Brechungsindex des 1., n_2 den des 2. Mittels und ϱ den Radius der brechenden Fläche bedeutet. In unserem Falle steht die Frage so. Wenn $rc = a$ 76·3 M$^{m.}$ beträgt und $\alpha = cf_2$ 20 M$^{m.}$ werden soll, wie gross muss hiebei der Radius ϱ der brechenden Fläche sein?

Da $n_1 = 1$, $n_2 = 4/3$ und α stets $= 20$ M$^{m.}$, so geht die angezogene Formel für alle derartigen Berechnungen über in: $\varrho = \frac{5a}{15+a}$ und daraus ergibt sich für unsern Fall, in welchem $a = 76·3$, $\varrho = 4·18$ M$^{m.}$

Wie gross ist das Bild von ab in diesem für einen 3″ entfernten Punkt accommodirenden emmetropischen Auge? Es verhält sich $b : \beta_1 = r k_1 : k_1 f_2 = 80·48 : 15·82$, (der Knotenpunkt ist um 0·82 M$^{m.}$ vorgerückt, daher $rk_1 = 81·3 - 0·82 = 80·48$, und $k_1 f_2 = 15 + 0·82 = 15·82$ M$^{m.}$) mithin $b : \beta_1 = 5·087 : 1$ und $\beta_1 = \frac{1}{5·087}\, b$. Das Netzhautbild ist also in dem genannten Falle trotzdem der Knotenpunkt vorrückte, der Gesichtswinkel also grösser wurde, kleiner als im Auge mit $M^1/_3$, weil die Grösse der Netzhautbilder eben nur unter übrigens gleichen Umständen von der Grösse des Gesichtswinkels abhängt, sonst aber die Länge der Augenaxe und, wie wir sehen werden, auch vor allem die Lage des 2. Knotenpunktes von wesentlichem Einflusse sind.

Wenn $\beta = \frac{1}{4·087}\, b$ und $\beta_1 = \frac{1}{5·087}$, so verhält sich

$\beta : \beta_1 = 5·087 : 4·087 = 1·245 : 1$, mithin $\beta =$ circa $1^1/_4\, \beta_1$,

d. h. das Netzhautbild, welches ein durch Verlängerung der Augenaxe mit $M^1/_3$ behaftetes Auge von einem 3″ entfernten Punkte entwirft, hat einen $1^1/_4$mal so grossen Durchmesser, als das Bild des emmetropischen für 3″ accommodirenden Auges.

---

[1]) Helmholtz' Phys. Optik, pag. 44, sub 3.

Digitized by Google

Denken wir uns die Myopie nicht durch Verlängerung der Augenaxe, sondern durch stärkere Brechkraft des dioptrischen Systems erzeugt, dann wäre durch den Bau des Auges jener Zustand gegeben, den im früheren Falle die Accommodation erzeugte. Demnach wäre das Netzhautbild in einem solchen Auge dem des emmetropischen gleich gross und auch im lebenden Auge, in welchem wir es nicht mit einer einzigen brechenden Fläche zu thun haben, würde dasselbe Verhältniss Platz greifen.

In Betreff obiger Berechnung muss noch Folgendes bemerkt werden. Müsste nicht durch das Vorrücken von k nach k_1 die Distanz rk in rk_1 geändert werden, könnte $rk = rk_1$ sein, würde der Gesichtswinkel nicht verändert, dann könnten wir das Verhältniss von β zu β_1 viel einfacher und direct durch die Proportion $\beta : \beta_1 = 19{\cdot}89 : 15{\cdot}82$ finden, d. h. es würden sich die Bildgrössen wie die Abstände der Bilder vom Knotenpunkte verhalten. Aus obiger Proportion würde sich $\beta = 1{\cdot}257\ \beta_1$ ergeben. Wir sehen, dass falls wir den Fehler in der Rechnung begehen, und auf diese Weise die letztere so sehr vereinfachen, die Differenz nur 0·012 Millimeter ausmacht, wobei man nicht vergessen darf, dass r nur 3″ von k absteht, und also eine Grösse von 0·82 M$^{m.}$ gegen diesen Werth noch durchaus nicht verschwindend klein ist. Wenn wir aber, wie wir dies später thun werden, Sehprüfungen auf eine 80mal grössere Distanz, auf 20′ nämlich vornehmen, dann ist jetzt schon begreiflich, dass die bei diesen Prüfungen, deren Natur wir kennen lernen werden, sich ergebende unwesentliche Vorrückung des ersten Knotenpunktes gänzlich vernachlässigt werden kann.

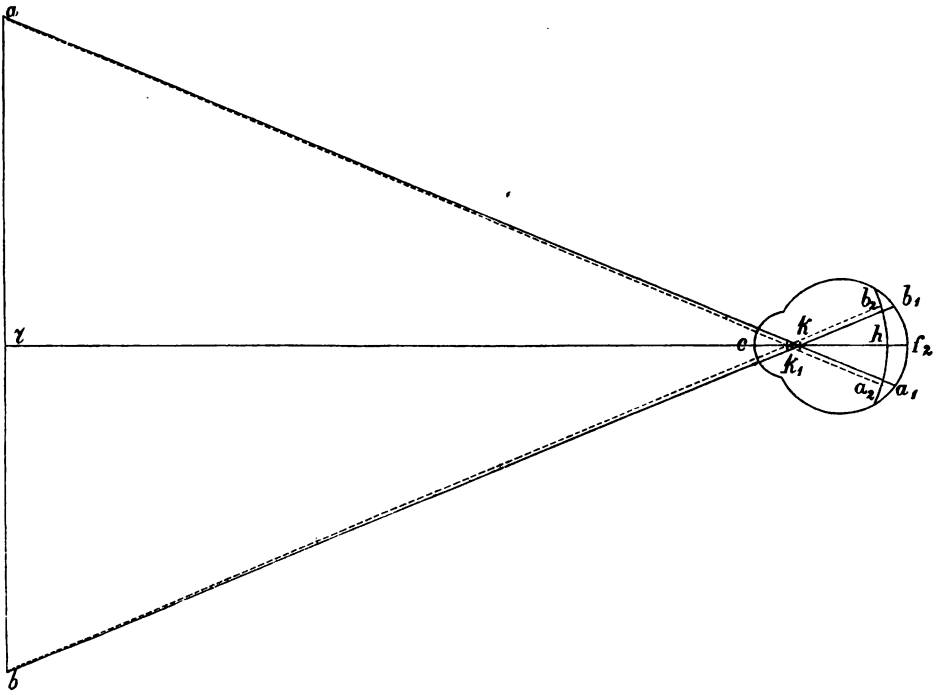
Ehe wir aus der Grösse des Netzhautbildes des myopischen Auges auf dessen Sehschärfe Schlüsse ziehen, betrachten wir zunächst die Verhältnisse im hypermetropischen Auge. In (Fig. 42) ist wieder A mit der Axe cf_2 das emmetropische reducirte Auge. In dasselbe ist das Auge mit $H^1/_3$, hervorgebracht durch Verkürzung der Axe cf_2 um 2·96 M$^{m.}$ eingetragen, so dass also die Axe des Auges mit $H^1/_3 : ch$ 20—2·96, demnach 17·04 M$^{m.}$ beträgt und die Netzhaut 12·04 M$^{m.}$ vom Knotenpunkte absteht. Von dem in unendlicher Entfernung stehenden Object ab entwirft das emmetropische Auge das Bild $a_1 b_1$. Wie gross ist das Bild dieses Objectes im hypermetropischen Auge? Hier müssen wir umgekehrt, wie früher fragen. Kann das hypermetropische Auge noch ein deutliches Bild dieses Objectes entwerfen?

Allerdings, wenn es nur hinlänglich jung ist, um die Linse $^1/_3$, die ihm gleichsam fehlt, durch eine Accommodation $^1/_3$ zu ersetzen. Das Auge mit der Axe ch wird demnach durch entsprechende Aenderung

Digitized by Google

der Krümmung seiner brechenden Fläche parallele Strahlen auf der Netzhaut einigen und vom Objecte ab ein deutliches Bild entwerfen kön-

Fig. 42.



nen. Die hiezu nöthige Krümmungsvermehrung berechnen wir in diesem Falle nach der Formel $r = \frac{(n_2 - n_1)\ n_1}{n_2\ n_1}\ \varphi_2$. Die zweite Brennweite φ_2 ist in unserem Falle $= ch = 17{\cdot}04$ M$^{m.}$, denn die brechende Fläche soll ja das Verlangen erfüllen, die parallelen Strahlen 17·04 M$^{m.}$ hinter sich zu vereinigen. Daraus folgt, da $n_1 = 1$ und $n_2 = {}^4/_3$, dass $r = {}^1/_4\ \varphi_2$ $= 4{\cdot}26$ M$^{m.}$.

Durch die höchst einfache Formel $r = {}^1/_4\ \varphi_2$ können wir also, sobald wir die Verkürzung der Axe, die einem bestimmten Grade von H entspricht, berechnet haben, auch finden, welche Krümmungsvermehrung der brechenden Fläche die Hypermetropie neutralisirt. Unser Auge mit Hypermetropie $^1/_3$ wird demnach, indem $ck_1 = 4{\cdot}26$ M$^{m.}$ wird, der Knotenpunkt also um 0·74 M$^{m.}$ vorrückt, und $k_1h = 12.04 +$ $0{\cdot}74 = 12{\cdot}78$ wird, nunmehr ein deutliches Bild a_2b_2 von ab entwerfen.

Digitized by Google

Wie verhält sich nun $a_1 b_1 = b$, das Bild des emmetropischen Auges, zu $a_2 b_2 = \beta$, dem Bilde des durch Accommodationsanstrengung emmetropisch gemachten Auges mit H 1/3. Es verhält sich $\beta : b = k_1 h : k f_2$. Die Rechnung, die wir noch beim Auge mit M 1/3 geführt, wäre hier vollkommen nutzlos, da die Differenz der Grössen rk und rk_1, von 0·74 $M^{m.}$, selbst wenn das Object nicht in unendlicher Entfernung, sondern in 20' gelegen wäre, (wie wir sehen werden) absolut keinen praktischen Einfluss mehr auf die Grösse der Netzhautbilder nimmt, die Vorrückung des Knotenpunktes und die damit verbundene Vergrösserung des Gesichtswinkels gänzlich vernachlässigt werden kann, und es nur auf den Abstand der Bilder von k, resp. k_1, ankommt.

Da demnach $\beta : b = 12{\cdot}78 : 15$, so ist $\beta = 0{\cdot}85\ b = \frac{17}{20}\ b$ d. i. das Netzhautbild des Auges mit H 1/3, das seine durch Axenverkürzung erzeugte H durch Accommodation neutralisirt, verhält sich zu jenem des emmetropischen Auges, wie 17 : 20.

Würde dagegen die Hypermetropie durch schwächere Brechkraft des dioptrischen Systems bei unverändeter Axenlänge bewirkt, dann würde das Bild des seine H durch Accommodation deckenden Auges dem des emmetropischen gleich sein.

Was haben wir durch die bisher geführten Berechnungen gewonnen? Erstens das, dass wir statt des ewigen blossen Geredes über den vorliegenden Gegenstand Zahlengrössen für die Netzhautbilder des myopischen (langen) und hypermetropischen (kurzen) Auges im Vergleiche mit denen des emmetropischen, und zwar für vergleichbare Entfernungen, d. i. für solche, in welchen das emmetropische und ametropische unbewaffnete Auge noch deutlich sehen können, gefunden haben. Die Berechnung geschah zunächst für die extremen Grade der Ametropie, in welchen noch Vergleichung möglich ist. Die später folgende Tabelle gibt ein allgemein übersichtliches Bild.

Indem wir ferner im Anfange unserer Betrachtungen über die Sehschärfe zum Axiom erhoben haben, dass dieselbe nur von der Grösse der Netzhautbilder abhänge und in gewissen Grenzen der letzteren direct proportional sei, so lernen wir zweitens aus den gefundenen Werthen, dass und in welcher Art die Sehschärfe des ametropischen Auges verändert wird, falls eine Axenänderung der Ametropie zu Grunde liegt, während das unbewaffnete ametropische Auge, dessen Ametropie in veränderter Brechkraft des dioptrischen Systems begründet wäre, die gleiche Sehschärfe wie das emmetropische Auge darbieten würde

Digitized by Google

Wenn wir speciell auf die zwei berechneten Fälle eingehen, so ergibt sich, dass ein Auge mit $M\,^1/_3$ von einem 3″ entfernten Objecte ein $^5/_4$mal grösseres Bild entwirft als ein emmetropisches Auge. Daraus würde erhellen, dass die Sehschärfe des ersteren $^5/_4$ der Sehschärfe des letzteren für vergleichbare Entfernungen bträgt.

Andererseits würde ein Auge mit $H\,^1/_3$, das seine H durch Accommodation überwindet, Nr. XX Snellen nicht mehr auf 20′ lesen können. Seine Sehschärfe ist herabgesetzt, und zwar in dem Masse, als das Netzhautbild verkleinert ist. Ist also die Sehschärfe des emmetropischen Auges $= \frac{20}{20} = 1$, dann ist die des vergleichbaren hypermetropischen $^{17}/_{20}$, d. h. ein solches Auge wird die Reihe XX nur auf 17′ deutlich sehen.

Im Allgemeinen wäre, nach der Grösse des Retinalbildes beurtheilt, die Sehschärfe des myopischen Auges, dessen Myopie durch Axenverlängerung bedingt ist, grösser, die des hypermetropischen mit Bulbusverkürzung einhergehenden kleiner, als die des emmetropischen Auges.

Wie stimmen nun die gefundenen Resultate mit den Thatsachen? Betrachten wir zunächst, wie man sich die Sache bisher vorgestellt hat. In der letzten Arbeit von Knapp [1]) „über den Einfluss der Brillen auf die optischen Constanten und die Sehschärfe“ spricht sich derselbe dahin aus, dass „die Retina in den in Rede stehenden Augen eben so normal als im emmetropischen Auge sein kann, wie dies in Wirklichkeit auch meist der Fall ist, und desshalb die gleiche Anzahl empfindender Elemente und Nervenfasern enthalten muss.“

„Die nothwendige Folge dieser Thatsache ist offenbar, dass die absolute Dichtigkeit der Netzhautelemente in kurzen (hyperopischen) Augen grösser, und in langen (myopischen) Augen geringer ist. Im hyperopischen Auge muss die Retinalfläche mit allen ihren Elementen als zusammengezogen, im myopischen als ausgedehnt angesehen werden. Wenn die drei krummen Linien (Fig. 43) ein hyperopisches, emmetropisches und myopisches Auge darstellen, so schneiden die von dem ersten Knotenpunkte ausgehenden Radien correspondirende Netzhautabschnitte mit gleichviel Empfindungselementen ab. Dieselbe Anzahl der letzteren muss im hyperopischen Auge auf eine kleinere und im myopischen auf eine grössere Fläche als im normalen Auge vertheilt sein.“ So Knapp.

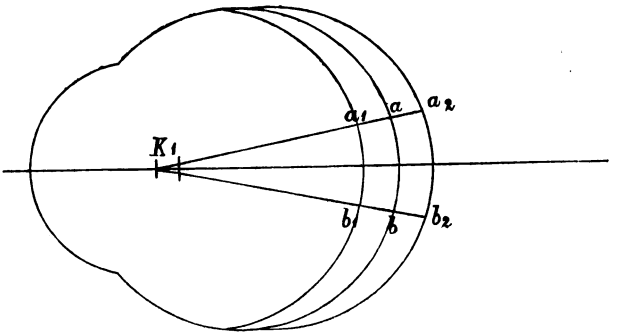
---

[1]) Dessen Archiv, I. 2. 1870. pag. 152.

Digitized by Google

Donders wollte die geringere Sehschärfe, welche die Hypermetropie häufig begleitet, „zum Theile aus dem Bau des Auges“, eben aus der relativen Kleinheit der Netzhautbilder ableiten, denn „nur wenn

Fig. 43.



eine kleinere Oberfläche der Netzhaut eine gleiche Anzahl von percipirenden Elementen besässe, wie das emmetropische Auge, könnte die geringere Grösse der Netzhautbilder ganz oder doch theilweise ausgeglichen werden; zu dieser Annahme jedoch sind wir durch nichts berechtigt.“ In Betreff des myopischen Auges stellt sich Donders die Sache so vor, dass die Verlängerung des Bulbus gleichzeitig zur Dehnung der Netzhaut führt, aber nicht bloss so, dass (Fig. 43) das Areal $a_2 b_2$ des myopischen Auges dem Areale $a b$ des emmetropischen entspricht, wodurch für vergleichbare Entfernungen ungefähr gleiche Sehschärfe sich ergeben würde, sondern vielmehr in der Art, dass, weil „die Ausdehnung besonders den hinteren Pol betrifft und vorzugsweise die Gegend des gelben Flecks ergreift,“ die Ausdehnung unproportional stattfindet, so dass das Areal $a_2 b_2$ nicht einmal dem Areal $a b$ gleich kommt und daher schon aus diesem Grunde die Sehschärfe des myopischen Auges vermindert sein müsste.

Was nun das hypermetropische Auge anlangt, so wäre es selbst, falls das Verhalten der Sehschärfe zu Erklärungsgründen auffordern würde, sehr gewagt, ein Dichterstehen der Zapfen oder eine Verschmächtigung derselben anzunehmen. Es ist sicher, das im hypermetropischen Auge, das ein unvollkommen entwickeltes ist, die Natur nicht besondere Vorkehrungen, über deren Möglichkeit wir gar nicht aburtheilen wollen, getroffen hat, um den verschieden grossen Netzhautbildern die gleichen absoluten Werthe zu verschaffen. Es wären aber solche Vorkehrungen auch gar nicht nöthig, denn wenn man sich nicht

Digitized by Google

in allgemeinen Ausdrücken ergeht, sondern rechnet, so kommt man darauf, dass unter der Annahme, dass die Zapfen dasselbe Verhalten wie im emmetropischen Auge zeigen, also weder dichter stehen (in Anbetracht, dass zwischen den einzelnen Zapfen des gelben Fleckes gerade nicht überflüssige Räumlichkeiten vorhanden sind, fällt es mir etwas schwer, mir dieses Dichterstehen vorzustellen), noch auch verjüngt sind, ich sage man kommt darauf, dass unter dieser Annahme selbst bei den höchsten Graden von Hypermetropie die Sehschärfe durch die Verkürzung des Bulbus nur sehr wenig beeinflusst wird. Selbst bei einer Hypermetropie $^1/_3$, welche durch Accommodation gedeckt wird, wäre noch $S = \frac{17}{20}$, falls wir die des emmetropischen $= \frac{20}{20}$ setzen. Wenn man aber bedenkt, dass die Sehschärfe eines jugendlichen Auges in der Regel $\frac{25}{20}$ beträgt, so würde ein jugendliches Auge mit $H^1/_3$ (und nur ein solches kann seine Hypermetropie durch Accommodation decken) noch eine Sehschärfe $\frac{21}{20}$, also noch immer eine grössere als die normale darbieten. Bei $H^1/_5$ wäre, falls S $\frac{20}{20}$ als Mass genommen wird, S noch $^{18}/_{20}$, bei $H^1/_{10} = {}^{19}/_{20}$ und bei geringeren Graden von S $\frac{20}{20}$ kaum mehr verschieden.

Was geht daraus hervor? Das hypermetropische Auge würde in Folge seines Baues, d. h. in Folge des verringerten Abstandes seiner Knotenpunkte von der Netzhaut, eine verhältnissmässig geringe, in beigesetzter Tabelle I für verschiedene Grade der Axenlänge berechnete Abnahme seiner Sehschärfe zeigen. Columne I dieser Tafel, welcher das reducirte Auge zu Grunde liegt, enthält den Grad der Ametropie, Col. II die entsprechende Axenlänge ch, Col. III den Halbmesser ρ, welchen die Krümmungsfläche dieses Auges annehmen muss, um parallele Strahlen in h zu vereinigen. In Col. IV ist $k_1 h$ d. i. der Abstand des durch Accommodation vorgerückten Knotenpunktes von der Netzhaut, in Col. V die Grösse des Netzhautbildes β, in Col. VI die Sehschärfe S des hypermetropischen Auges eingetragen, wenn das entsprechende Bild des emmetropischen Auges $= 1$ und dessen Sehschärfe $= \frac{20}{20}$ gesetzt wird.

Digitized by Google

Tabelle I.

Grad der Hypermetropie	Länge des Auges in Millimetern	Radius des durch Accommodation neutralisirten Auges	Abstand des Knotenpunktes des accommodirten Auges von der Netzhaut	Grösse des Netzhautbildes	Sehschärfe nach Snellen ausgedrückt
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
$\frac{1}{3}$	17·04	4·26	12·78	0·85	17 : 20
$\frac{1}{4}$	17·66	4·42	13·24	0·88	17·6 : 20
$\frac{1}{5}$	18·07	4·52	13·55	0·90	18 : 20
$\frac{1}{6}$	18·36	4·59	13·77	0·92	18·4 : 20
$\frac{1}{7}$	18·57	4·64	13·93	0·93	18·6 : 20
$\frac{1}{8}$	18·73	4·68	14·05	0·94	18·8 : 20
$\frac{1}{10}$	18·97	4·74	14·23	0·95	19 : 20
$\frac{1}{15}$	19·30	4·82	14·48	0·97	19·4 : 20
$\frac{1}{30}$	19·64	4·91	14·73	0·98	19·6 : 20
$\frac{1}{60}$	19·82	4·96	14·86	0·99	19·8 : 20

Nach den Ergebnissen dieser Tabelle könnte also, falls es sich herausstellen sollte, dass bei Hypermetropie de facto eine bemerkenswerthe Abnahme der Sehschärfe vorkommt, dieselbe nicht aus der Axenverkürzung des Auges erklärt werden. Die tägliche Erfahrung zeigt nun, dass wenigstens bei bemerkenswerthen Graden von Hypermetropie, selbst wenn man das Netzhautbild durch ein vorgesetztes Glas — wir werden sehen wie dies geschieht — dem des emmetropischen Auges gleich oder es sogar grösser als letzteres macht, die Sehschärfe geringer als die normale ist, und dass sie bei höhergradiger Hypermetropie, $^1/_8$ — $^1/_3$, selbst unter den angedeuteten Verhältnissen gewöhnlich auf die Hälfte und unter dieses Mass sinkt. Es versteht sich von selbst, dass ich bei dieser Angabe von der Amblyopie, wie

Digitized by Google

sie Ein Auge bei Hypermetropie so häufig zeigt und von dem Einflusse des Astigmatismus gänzlich absehe.

Würde ein Dichterstehen der Zapfen im hypermetropischen Auge stattfinden, dann würde ein solches Auge (Fig. 43) schon unbewaffnet eine grössere Sehschärfe als das normale darbieten, da es zum deutlichen Sehen in die Ferne accommodiren muss, die Knotenpunkte dabei vorrücken und daher das Bild grösser als $a_1 b_1$, also auch relativ grösser als das dem $a_1 b_1$ äquivalente ab wird. Umsomehr aber müsste S steigen, falls durch Vorsetzung eines Glases $a_1 b_1$ im hypermetropischen Auge die Grösse von ab des emmetropischen annehmen würde. Da aber die Erfahrung selbst in diesem Falle in der Regel eine Herabsetzung der Sehschärfe zeigt, so müssten wir, falls wir den Werth der letzteren von der Anzahl der getroffenen Retinal-Elemente abhängig machen wollten, zu dem Schlusse kommen, dass dieselben im verkürzten Auge nicht bloss nicht dichter, sondern nicht einmal so nahe aneinander wie im emmetropischen stehen, vielmehr einen grösseren gegenseitigen Abstand als in letzterem zeigen. Es wäre aber eine solche Annahme ebenso unrichtig, als jene so allgemein giltige, welche die Herabsetzung der Sehschärfe bei Myopie auf das Auseinandertreten der Elemente zurückführt. So lange keine anatomischen Thatsachen in dieser Richtung vorgelegt werden können, müssen wir annehmen, dass die Zapfen des gelben Fleckes im hypermetropischen Auge ebenso wie im myopischen mit demselben Durchmesser und in der gleichen Dichtigkeit wie im emmetropischen stehen, und dass die Herabsetzung der Sehschärfe bei Hypermetropie in einer Veränderung, wahrscheinlich mangelhaften Entwicklung derselben (in ihrem Innern, nicht in ihren Dimensionen) beruht, da die Rechnung zeigt, dass die Verkürzung des Bulbus einen verhältnissmässig sehr geringen Einfluss auf die Herabsetzung des Sehvermögens nehmen kann.

Die Tabelle II verzeichnet die für das myopische Auge wichtigen Daten, wobei natürlich wieder vom reducirten Auge ausgegangen wurde, in Columne I den Grad der Anomalie, in Col. II die entsprechende Axenlänge, in Col. III den Abstand des Knotenpunktes dieses Auges von der Netzhaut: km. Col. IV nennt die Grösse, welche der Radius der brechenden Fläche haben muss, damit ein Auge mit der Axenlänge von 20 M^m. einen gewissen Grad von M darbiete, oder damit ein emmetropisches Auge für einen entsprechenden Punkte accommodirt sei. In Col V findet sich der Abstand $k_1 f_2$ des Knotenpunktes k_1 eines solchen Auges von der Netzhaut, in Col. VI die Grösse des Netzhautbildes des durch Axenverlängerung myopisch gemachten Auges, wenn jene des durch stärkere Brechkraft des dioptrischen Apparates myopisch ge-

Digitized by Google

machten oder des accommodirten emmetropischen gleich 1 gesetzt wird. Die letzte Reihe VII endlich enthält die Sehschärfe, die sich der Grösse des Netzhautbildes entsprechend ergeben müsste, falls die Sehschärfe des letztgenannten Auges $= 1$ oder $\frac{20}{20}$ angenommen wird.

Tabelle II.

Grad der Myopie	Länge des Auges	Abstand des Knotenpunktes des langen Auges von der Netzhaut	Radius des entsprechend accommodirten emmetropischen Auges	Abstand des Knotenpunktes des accommodirten emmetropischen Auges von der Netzhaut	Grösse des Netzhautbildes des langen Auges	Sehschärfe desselben nach Snellen ausgedrückt
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
$\frac{1}{3}$	24·89	19·89	4·18	15·82	1·26	25·2 : 20
$\frac{1}{4}$	23·31	18·31	4·37	15·63	1·17	23·4 : 20
$\frac{1}{5}$	22·60	17·60	4·48	15·52	1·13	22·6 : 20
$\frac{1}{6}$	22·10	17·10	4·57	15·43	1·11	22·2 : 20
$\frac{1}{7}$	21·77	16·77	4·63	15·37	1·09	21·8 : 20
$\frac{1}{8}$	21·53	16·53	4·67	15·33	1·08	21·6 : 20
$\frac{1}{10}$	21·20	16·20	4·73	15·27	1·06	21·2 : 20
$\frac{1}{15}$	20·78	15·78	4·82	15·18	1·04	20·8 : 20
$\frac{1}{30}$	20·38	15·38	4·91	15·09	1·02	20·4 : 20
$\frac{1}{60}$	20·19	15·19	4·95	15·05	1·01	20·2 : 20

Auch diese Tabelle zeigt, dass die Grössenzunahme des Netzhautbildes im myopischen verlängerten Auge eine verhältnissmässig geringe ist. Selbst ein Auge mit $M^1/_7$ z. B. hat erst einen geringen Vorsprung vor dem accommodirenden emmetropischen Auge. Es versteht

Digitized by Google

sich von selbst, dass die Grössenzunahme der Bilder nur dann eine Bedeutung hat, wenn die Zahl der empfindenden Elemente in ihnen eine grössere ist. Dies letztere kann man mit grosser Bestimmtheit annehmen. In unserer Zeit, wo man es mit Angaben aller Art gerade nicht sehr genau nimmt, hat es doch noch kein Histologe über sich gebracht, zu behaupten, dass die Zapfen im gelben Flecke des myopischen Auges weniger dicht ständen, als im emmetropischen Bulbus. Und sowie es seine Schwierigkeit hat, sich klar zu machen, in welcher Weise die Zapfen im hypermetropischen Auge dichter stehen könnten als im emmetropischen, so ist auch die Vorstellung nicht leicht, wie die Zapfen im gelben Flecke des Myopen einfach von einander treten sollen, ohne gleichzeitig zu zerbrechen und zu zerbiegen.

Man hat nur aus dem Umstande, dass die Sehschärfe des myopischen Auges so häufig verringert ist, auf die von Donders früher angegebene Art der Netzhautzerrung geschlossen, aber mit demselben Rechte könnte man auch die Herabsetzung der Sehschärfe bei Hypermetropie auf Netzhautzerrung beziehen, und da eine derartige Annahme absurd wäre, so ist die erstere wenigstens nicht geboten. In der Lehre von der Myopie werden wir übrigens auch aus der Art des Sehens der Myopen die Unzulässigkeit einer solchen Zapfenauseinanderrückung kennen lernen.

Wenn nun wirklich im myopischen Auge relativ mehr Seheinheiten in dem Bilde eines bestimmten Objectes enthalten sind, dann muss daraus folgen, dass die Sehschärfe des myopischen Auges für vergleichbare Entfernungen grösser, als die des emmetropischen ist, falls die Zapfen des gelben Fleckes nicht krankhaft afficirt sind. Donders [1]) sagt: „Wo die $M > 1/6$ ist, ist die Sehschärfe häufig unvollkommen, ausser es wäre die Myopie angeboren und das Individuum noch sehr jung; bei $M > 1/5$ ist die Unvollkommenheit der Sehschärfe Regel, bei $M > 1/4$ vielleicht Regel ohne Ausnahme.“ Das Gesagte ist fast richtig, beweist aber nur, dass in der Zapfenschichte des gelben Fleckes bei Myopie häufig Veränderungen vorkommen, durch welche die Sehschärfe herabgesetzt wird, und zwar dann gewöhnlich in einer Weise, wie sie eine noch so disproportionale Zerrung der Netzhaut einfach durch die Verringerung der Zahl der Elemente im Bilde nie und nimmer erklären könnte. Dagegen gibt es auch myopische Augen, welche von diesen Alterationen des gelben Fleckes frei bleiben und bei denen dann die Zunahme der Sehschärfe deutlich ist, wiewohl

[1]) Anomalies etc. pag. 390. Deutsche Uebersetzung, pag. 327.

Digitized by Google

die Tabelle II klar zeigt, dass dieselbe selbst dann nur unbedeutende Grade erreichen kann. Wenn ich, dessen rechtes Auge durch Concav 5, dessen linkes durch Concav $5^1/_2$, $^1/_2$'' vor den Knotenpunkt des Auges gestellt, corrigirt wird, mit diesen Gläsern, deren verkleinernde Wirkung wir kennen lernen werden, noch Sehschärfe $\frac{30}{20} = 1^1/_2$ aufweise, so bin ich, wiewohl meine Myopie in ihrem Verlaufe und durch die Anwesenheit des Staphyloma posticum sich von der gewöhnlichen Form nicht unterscheidet, wenigstens über die Zerrung meiner Netzhaut im gelben Flecke beruhigt. Ich habe aber auch Fälle, wenn gleich sehr selten, gesehen, in denen durch corrigirende Concavgläser: $^1/_4$, ja selbst durch $\frac{1}{3\frac{1}{2}}$ Sehschärfen, grösser als $\frac{20}{20}$, sich ergaben. Diese positiven Fälle sind beweisend — und wenn man will, auch die negativen sind es in gewisser Hinsicht. Denn wenn Augen, die durch Concav $3^1/_2$ oder 3 corrigirt werden, gar häufig nur $S\ \frac{20}{100}$ zeigen, so ist es sicher, dass diese Herabsetzung der Sehschärfe nicht in der Zerrung der Netzhaut ihren Grund hat.

Aus dem Gesagten folgt:

1. Ist Myopie und Hypermetropie durch veränderte Brechkraft des dioptrischen Systems ohne Alteration der Axenlänge erzeugt, dann sind für vergleichbare Entfernungen die Netzhautbilder denen des emmetropischen Auges gleich, und ebenso verhält es sich mit der Sehschärfe.

2. Für Myopie und Hypermetropie, die durch Axenveränderung hervorgerufen sind, müssen wir, so lange nicht das Gegentheil erwiesen ist, annehmen, dass im gelben Flecke, in specie in der fovea centralis, die Zapfen mit gleichem Durchmesser und in gleicher Dichtigkeit, wie im emmetropischen Auge, stehen.

3. In Folge dessen enthält das Bild desselben Objectes für vergleichbare Distanzen im kurzen Auge weniger, im langen mehr Seheinheiten als im emmetropischen, ist die Sehschärfe des letzteren grösser, die des ersteren kleiner als die des Normalauges.

4. Die Differenzen sind aber viel unbedeutender, als man sich gewöhnlich vorstellt. Die zwei hierher gehörigen Tabellen geben in dieser Richtung Zahlenaufschlüsse.

5. Die bei *M* und *H* häufig zu beobachtende Herabsetzung der Sehschärfe, die nicht von einer Refractionsanomalie (dem Astigmatis-

Digitized by Google

mus) abhängig ist, hat ihren Grund in ungekannten Veränderungen der Zapfen des gelben Fleckes.

Zehnte Vorlesung.

Einfluss der Brillengläser auf die Lage der Cardinalpunkte des Auges, sowie auf die Sehschärfe.

Zwei lange Vorlesungen haben wir schon, meine Herren, der Sehschärfe, diesem Stiefkinde der physikalischen Untersuchung des Auges, gewidmet und den Gegenstand doch noch nicht genügend erschöpft. Noch haben wir von dem Einflusse der sphärischen Gläser auf die Sehschärfe zu handeln. Die Fragen, die hiebei von praktischer Wichtigkeit sind, lauten:

1. In welcher Weise wird die Sehschärfe eines Kurzsichtigen, der ja nur mit Hilfe eines Concavglases deutlich in die Ferne sehen kann, durch dieses Glas modificirt, d. h. wie verhält sich die Sehschärfe des bewaffneten Auges zu jener, die das Auge hätte, wenn es ohne Anwendung eines Glases deutlich in die Ferne sehen könnte. Die Frage wird aufgeworfen für den Fall, dass die Myopie durch Axenverlängerung, sowie auch für den, dass sie durch stärkere Krümmung der brechenden Flächen bedingt ist. Es ergibt sich daraus der Einfluss des Glases auf das verlängerte, sowie auf das durch Accommodation myopisch gemachte Auge.

Ferner: welches ist die Grösse des Netzhautbildes eines neutralisirten myopischen im Vergleich mit jenem des emmetropischen Auges?

2. In welcher Art wird die Sehschärfe des hypermetropischen Auges beeinflusst, wenn dasselbe nicht durch Accommodation seine Hypermetropie deckt, sondern falls die Anomalie durch ein vor das Auge gesetztes Convexglas corrigirt wird, und wie äussert sich die Wirkung des Glases, je nachdem die Anomalie in einer Axenverkürzung oder in der schwächeren Brechkraft des dioptrischen Systems ihren Grund hat.

Ferner: welches ist die Grösse des Netzhautbildes eines neutralisirten hypermetropischen im Vergleich zu jenem des emmetropischen Auges.

Es ist geradezu wunderbar, mit welcher Gleichgiltigkeit man die Beantwortung dieser Fragen, sowie mancher anderer diesbezüg-

Digitized by Google

licher in der letzten Vorlesung besprochener durch lange Zeit vernachlässigt hat. wiewohl der Weg hierzu ein höchst einfacher, durch die allgemein bekannten Formeln der physiologischen Optik gegebener ist; und wenn Donders bei der Besprechung der Wirkung, welche sphärische Gläser im Allgemeinen zeigen, im Grossen und Ganzen den Weg der Berechnung andeutet und auf die betreffenden Formeln hinweist, so hat er doch von denselben (ausser für die Fälle von Aphakie) keinen Gebrauch gemacht. Wir wollen darin die Entschuldigung dafür suchen, dass sich sowohl in der englischen als in der deutschen Ausgabe seines grossen Werkes etwas befremdende Ansichten über die Wirkung der Gläser finden. Wenn es z. B. bei Besprechung der Sehschärfe der Hypermetropen heisst: „Dieses Verhältniss (die Verkleinerung der Netzhautbilder wegen der geringeren Entfernung des Knotenpunktes von der Netzhaut) wird im Allgemeinen beim Gebrauche von Convexgläsern fortbestehen, wenn nicht starke Gläser erforderlich sind und diese verhältnissmässig weit vom Auge gehalten werden," so entspricht diese Angabe nicht dem thatsächlichen Verhältnisse, denn die einfachste Erwägung lehrt, dass in dieser Beziehung die Stärke der Gläser gar nicht, sondern nur deren Abstand vom Auge in Betracht kommt, und dass bei einem ganz mässigen Abstand des Glases vom Auge, wie er sogar gewöhnlich stattfindet, die Bilder des hypermetropischen Auges dieselbe räumliche Ausdehnung haben, wie jene des emmetropischen.

Bereits im Jahre 1866 habe ich die Vergrösserungen berechnet, welche man bei der Untersuchung emmetropischer und ametropischer Augen mit dem Augenspiegel im aufrechten und verkehrten Bilde erhält. Es sind dabei die Berechnungen geführt für die verschiedensten Fälle, für die Ametropien, die durch Axenänderung, sowie für jene, die durch geänderte Brechkraft des dioptrischen Systems erzeugt sind; für den Fall, dass das corrigirende Glas einen halben, sowie für den, dass es einen ganzen Zoll vor dem Knotenpunkte des untersuchten Auges steht; es ist verglichen die Vergrösserung, welche ein hypermetropisches Auge, das seine Hypermetropie durch Accommodation überwindet, darbietet, mit jener, die sich ergibt, falls H durch Gläser corrigirt wird; es ist gezeigt, wie die Formeln der physiologischen Optik für die Berechnung der sämmtlichen Cardinalpunkte des aus Glas und Auge bestehenden Systems verwerthet werden.

In den daselbst gefundenen Grössen liegen so ziemlich alle Daten für die Berechnung der Sehschärfe unter den verschiedensten Bedingungen. In neuerer Zeit sind zwei Arbeiten über den in Rede stehenden

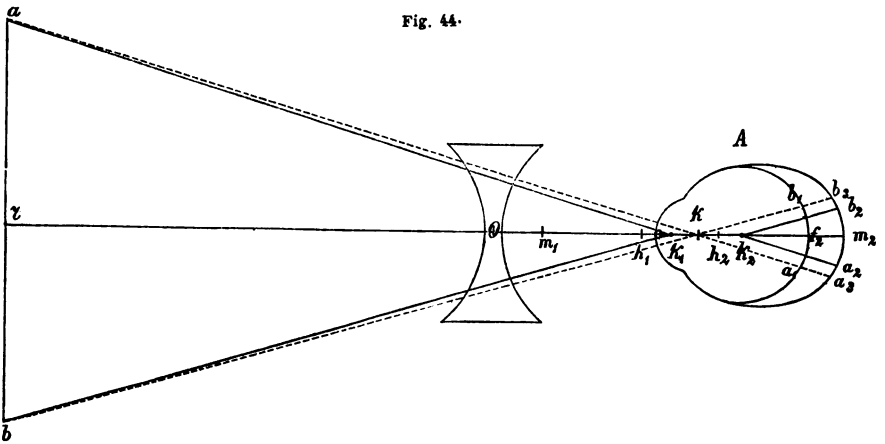
Digitized by Google

Gegenstand erschienen. Die eine: „Zur Bestimmung der Sehschärfe bei Ametropie“ von Woinow bedauere ich nicht blos als in den Einzelheiten (den Rechnungen) höchst uncorrect, sondern vor Allem als in ihren Resultaten vollkommen fehlerhaft bezeichnen zu müssen. Die andere ist die schon früher erwähnte Arbeit Knapp's, in welcher wenigstens ein Theil der hierher gehörigen Berechnungen gegeben wird.

Zeigen wir zunächst in einem auffallenden Beispiele, in welcher Weise die Berechnungen, von denen die Rede ist, ausgeführt werden. Es ist dies zum Theil eine Wiederholung dessen, was schon bei früherer Gelegenheit angegeben wurde [1]). Es wird sich hierbei, abgesehen von der Ergründung der Linsengesetze, herausstellen, in welcher Weise die ganze Rechnung für unseren Zweck sich vereinfacht, und wie allein jener Werth in Betracht kommt, den schon Donders bei der Berechnung der Vergrösserung des Bildes im aphakischen Auge verwendete.

In unserem Vorhaben wird uns die beigesetzte Figur 44 unterstützen, in welcher die folgenden Zahlenverhältnisse (mit Ausnahme von rc, welches 20 Pariser Fuss bedeutet) unmittelbar, so gut es anging,

Fig. 44.



wiedergegeben sind. Das Auge A mit der Axe cm_2 ist ein Auge mit $M^1/_3$, bedingt durch die Verlängerung des emmetropischen reducirten Auges (mit der Axe $cf_2 = 20$ M$^{m.}$) um 4·89 M$^{m.}$; cm_2 ist $= 24·89$ und km_2, der Abstand des Knotenpunktes von der Netzhaut, $= 19·89$ M$^{m.}$ Das Bild des Objectes ab, welch' letzteres sich in einem Abstand von $rc = 20$ P. F. $= 6501·12$ M$^{m.}$ (genau) vom Auge befindet, würde,

[1]) Zeitschrift für praktische Heilkunde, 1866. Bestimmung der Refractionsanomalien mit Hilfe des Augenspiegels, 1867; und Lehrbuch der Ophthalmoscopie, I. Abtheilung, 1867.

Digitized by Google

falls das myopische Auge ein deutliches Bild davon auf der Retina entwerfen könnte, durch $a_3 b_3$ gegeben sein; in Zahlen erhalten wir es, wenn wir bedenken, dass

$$\text{(I)}\quad ab : a_3 b_3 = rk : k m_2 = (6501{\cdot}12 + 5) : 19{\cdot}89 = 327{\cdot}1 : 1,$$

$$\text{daher}\quad a_3 b_3 = \frac{1}{327.1}\, ab.$$

Da aber nur mit Hilfe eines Concavglases ein deutliches Sehen für die Ferne ermöglicht wird, so ändert sich die Sache. $M^1/_3$ wird, wie wir sehen werden, falls wir das neutralisirende Glas $1''$ vor den Knotenpunkt des Auges stellen, durch Concav 2 corrigirt. Der optische Mittelpunkt o dieses Glases stehe also von k 1 P. Z. = 27·1 M$^{m.}$ ab. Glas und Auge bilden nun ein zusammengesetztes dioptrisches System, derart, dass der hintere Brennpunkt desselben in m_2 geiegen ist, d. h. dass parallele Strahlen, als welche wir die von dem entfernten Objecte ab kommenden ansehen können, mit Hilfe des Glases auf der Retina vereinigt werden. — Dies ist ja der Begriff der Correction der Myopie durch das Concavglas.

Wüssten wir, wo der Knotenpunkt des Sammelsystems liegt, dann könnten wir die Grösse des Netzhautbildes construiren und berechnen und unsere Aufgabe wäre gelöst. Während das verwendete reducirte Auge nur Einen Knotenpunkt hat, und auch die beiden Knotenpunkte des schematischen so nahe aneinander liegen, dass man ohne einen wesentlichen Fehler zu begehen, sich dieselben in Einen vereinigt denken kann, ergibt sich in dem aus Glas und Auge zusammengesetzten Systeme eine derartige Distanz zwischen erstem und zweitem Knotenpunkte, dass von einer Vernachlässigung derselben um so weniger die Rede sein kann, als nicht einmal die relative Lage beider zum Knotenpunkte des unbewaffneten Auges dieselbe zu sein braucht. So liegt in unserem vorliegenden Falle der erste Knotenpunkt weit vor, der zweite dagegen weit hinter dem Knotenpunkte des unbewaffneten Auges.

Man findet die Cardinalpunkte des Sammelsystems, wenn die Brennweiten beider Systeme und der Abstand zwischen dem 2. Hauptpunkt des ersten und dem 1. Hauptpunkte des 2. Systems bekannt sind. Die vordere und hintere Brennweite f_1 und f_2 des ersten Systems, nämlich der Glaslinse, sind gleich gross; $f_1 = f_2 = f$ ist negativ, sie beträgt — 2 P. Z. d. i. — 54·2 M$^{m.}$ Das 2. System, das Auge, hat eine vordere Brennweite $\varphi_1 = 15$, und eine hintere, $\varphi_2 = 20$ M$^{m.}$ Für den 2. Hauptpunkt des ersten Systems nehmen wir das optische Centrum der Linse, in welchem man sich beide Hauptpunkte vereinigt denken kann. Das zweite System, das Auge, hat ohnehin nur Einen Haupt-

Digitized by Google

punkt, der im Scheitel c der Cornea liegt. Der Abstand oc wird mit d bezeichnet, und da $ok = 27{\cdot}1$, so ist $oc = d = 22{\cdot}1$ M$^{m.}$ Es ist also

$$f_1 = f_2 = f = -54{\cdot}2$$
$$\varphi_1 = 15,\ \varphi_2 = 20$$
$$d = 22{\cdot}1$$

Bezeichnen wir ferner den Ausdruck: $\varphi_1 + f - d$ (in unserem Falle $= -61{\cdot}3$) mit x, so erhalten wir zur Berechnung der Lage der Cardinalpunkte des Sammelsystems folgende einfache Formeln:

$$F_1 = \frac{\varphi_1 f}{x},\ F_2 = \frac{\varphi_2 f}{x}$$
$$H_1 = \frac{d f}{-x},\ H_2 = \frac{d \varphi_2}{-x}$$

Daraus ergibt sich für unsern Fall:

$$F_1 = \frac{15 \times -54{\cdot}2}{-61{\cdot}3} = 13{\cdot}26,\ F_2 = \frac{20 \times -54{\cdot}2}{-61{\cdot}3} = 17.68$$
$$H_1 = \frac{22{\cdot}1 \times -54{\cdot}2}{61{\cdot}3} = -19{\cdot}54,\ H_2 = \frac{22{\cdot}1 \times 20}{61{\cdot}3} = 7{\cdot}21$$

H_1 bedeutet die Entfernung des 1. Hauptpunktes h_1 des Sammelsystems vom 1. Hauptpunkte des 1. Systems, d. i. des Glases, der wie wir sagten, mit dem 2. vereinigt, in o liegt. Der negative Werth von H_1 gibt an, dass h_1 hinter o gelegen sei. Wir tragen daher h_1 in unserer Zeichnung (Fig. 44) 19·54 M$^{m.}$ hinter o ein, und da oc 22·1 M$^{m.}$ beträgt, so liegt h_1 2·56 M$^{m.}$ vor dem Scheitel des Auges. H_2 gibt den Abstand des 2. Hauptpunktes h_2 des Sammelsystems vom 2. Hauptpunkte des 2. Systems, d. i. des Auges. Der positive Werth von H_2 bedeutet, dass h_2 hinter c, dem vereinigten Hauptpunkte des Auges, liege. Dem zu Folge nimmt h_2 in der Zeichnung seinen Platz 7·21 M$^{m.}$ hinter c ein. F_1 und F_2 geben uns die Werthe für die beiden Hauptbrennweiten des Sammelsystems. F_2 beträgt 17·68 M$^{m.}$; der 2. Brennpunkt des Sammelsystems liegt also 17·68 M$^{m.}$ hinter h_2, und demnach, da $c\,h_2$ 7·21 M$^{m.}$ gleicht, 7·21 + 17·68 = 24·89 M$^{m.}$ hinter c, d. h. er fällt nach m_2, wohin er ja fallen muss. Wäre uns nicht aus früherer Berechnung die Länge des Auges mit $M^1/_3$ schon bekannt, so würde sie uns jetzt, durch den Werth von H_2 und F_2 gegeben. F_1, die vordere Brennweite, gibt uns die Lage des 1. Brennpunktes m_1 des Sammelsystems: 13·26 M$^{m.}$ vor h_1 an. So wenig uns die Lage dieses Punktes m_1 für unsere Betrachtungen interessirt, so wichtig ist der Werth von F_1, denn da in jedem zusammengesetzten optischen System die erste Hauptbrennweite gleich ist dem Abstande des 2. Knotenpunktes vom 2. Brennpunkte, so ist auch für

Digitized by Google

unser Sammelsystem $F_1 = k_2\, m_2$. Damit ist die Lage des 2. Knotenpunktes k_2 des Sammelsystems, 13·26 $M^{m.}$ vor der Netzhaut m_2 festgestellt. Endlich gilt die Gleichung $h_1\, h_2 = k_1\, k_2$, und da $h_1\, h_2 = 2{\cdot}56 + 7{\cdot}21 = 9{\cdot}77$ $M^{m.}$, so liegt auch k_1, der 1. Knotenpunkt des Sammelsystems, 9·77 $M^{m.}$ vor k_2, daher 23·03 vor der Netzhaut und 1·86 $M^{m.}$ hinter dem Scheitel c des Auges.

Hiermit sind sämmtliche Cardinalpunkte des aus Glas und Auge zusammengesetzten optischen Systems bestimmt. Uns interessirt vor allem die Lage der beiden Knotenpunkte. In Betreff dieser letzteren hat sich herausgestellt, dass, wenn wir $M^1/_3$ (bedingt durch Verlängerung des reducirten Auges um 4·89 $M^{m.}$) durch Concav 2, 1″ vor den Knotenpunkt des Auges gestellt, corrigiren, der erste Knotenpunkt des neuen Systems vor den Knotenpunkt des Auges rückt, und zwar beträgt die Vorrückung 3·14 $M^{m.}$, während zugleich der zweite Knotenpunkt des Sammelsystems um 6·63 $M^{m.}$ nach rückwärts gegen die Netzhaut gewandert ist. Es ergibt sich demnach das Resultat, dass das corrigirte Auge nunmehr unter einem grösseren Gesichtswinkel als früher sieht, denn es ist $a\, k_1\, b > a\, k\, b$, aber ist deshalb auch das Netzhautbild von $a\, b$ grösser geworden, hat das Auge jetzt eine grössere Sehschärfe, als es hätte, wenn es ohne Glas deutlich in die Ferne sehen könnte? Trotz der bekannten verkleinernden Wirkung der Concavgläser hat diese Frage eine Berechtigung, seitdem Woinow die Vergrösserungs- und Verkleinerungswirkung eines Glases von dem Einfluss desselben auf die „Tangente des Sehwinkels," also von der Grösse des letzteren abgängig machen wollte.

Das Netzhautbild, welches das Sammelsystem von $a\, b$ entwirft, können wir construiren, indem wir $a\, k_1$ und $b\, k_1$, ferner $k_2\, a_2 \parallel a\, k_1$ und $k_2\, b_2 \parallel b\, k_1$ ziehen. Es ist nunmehr $a_2\, b_2$ das gesuchte Bild. Um wie viel $a_2\, b_2$ kleiner ist als $a_3\, b_3$, ergibt die Rechnung. Wir berechnen zunächst die Grösse von $a_2\, b_2$. Es ist

$$\text{(II)}\quad a\,b : a_2 b_2 = r\,k_1 : k_2 m_2 = (6501{\cdot}12 + 1{\cdot}86) : 13{\cdot}26$$

$$\text{daher}\quad a_2 b_2 = \frac{1}{490{\cdot}4}\, a\,b$$

$$\text{Früher fanden wir}\quad a_3 b_3 = \frac{1}{327{\cdot}1}\, a\,b$$

$$\text{daher}\quad a_2 b_2 : a_3 b_3 = 327{\cdot}1 : 490{\cdot}4$$

$$\text{und}\quad a_2 b_2 = 0{\cdot}667\; a_3 b_3$$

Schreiben wir die Proportion I (pag. 172) wie folgt: $a\,b : r\,k = a_3 b_3 : k m_2$, und darunter in gleicher Weise die Proportion II : $a\,b : r\,k_1 = a_2 b_2 : k_2 m_2$,

Digitized by Google

so würden, falls $rk = rk_1$ wäre, die ersten Theile beider Proportionen, und also auch die zweiten Theile gleich, daher

$$a_2b_2 : a_3b_3 = k_2m_2 : km_2 = 13{\cdot}26 : 19{\cdot}89 = 0{\cdot}667 : 1 = 1 : 1{\cdot}5$$

Nach der letzten Proportion ergibt sich:

$$a_2b_2 = 0{\cdot}667\ a_3b_3 \text{ und } a_3b_3 = 1{\cdot}5\ a_2b_2$$

Wir erhalten demnach denselben Werth für a_2b_2, wie durch die umständliche Berechnung und dies aus dem Grunde, weil wir $rk = rk_1$ setzen können, da bei dem grossen Werthe von rc die Differenz zwischen ck und ck_1 zu vernachlässigen erlaubt ist, selbst wenn diese Differenz die grössten Werthe, (wie z. B. einen solchen in unserem als Beispiel gewählten ziemlich extremen Falle) erreicht.

Daraus folgt, dass um die verkleinernde Wirkung eines Concav-Glases auf die Grösse des Netzhautbildes bei Myopie, die durch anomale Axenlänge bedingt ist, kennen zu lernen, wir nur die beiden Grössen welche km_2 und k_2m_2 entsprechen, zu kennen brauchen.

Die erste wird bestimmt durch die Länge des Auges, daher durch die Formel $l_1\ l_2 = \varphi_1\ \varphi_2$ (siehe pag. 154), die zweite durch die Formel $F_1 = \frac{\varphi_1 f}{x} =$ dem Abstande des zweiten Knotenpunktes k_2 des Sammelsystems von der Netzhaut. Bezeichnen wir ganz allgemein das Bild $a_2\ b_2$, welches das myopische Auge von entfernten Objecten mit Hilfe des corrigirenden Glases entwirft, mit β_1, das Bild $a_3\ b_3$ d. i. jenes, welches im unbewaffneten ametropischen Auge zu Stande käme, mit β_2, den Abstand des (2.) Knotenpunktes des unbewaffneten Auges von der Netzhaut mit g_2 und jenes des bewaffneten Auges von derselben mit g_1, dann ergibt sich:

$$\beta_1 : \beta_2 = g_1 : g_2$$

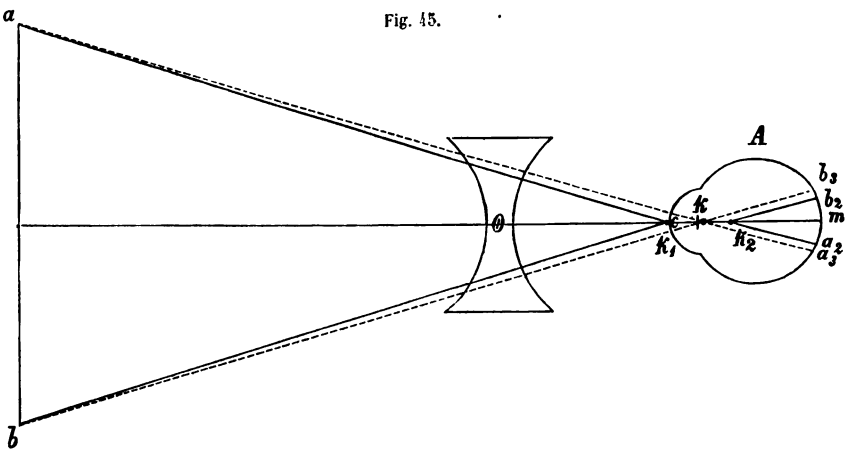
In unserem als Beispiel gewählten Falle erhielten wir $\beta_1 = 0{\cdot}667\ \beta_2$. Hätte nun das Auge bei einer Grösse des Netzhautbildes $= \beta_2$ eine Sehschärfe $\frac{20}{20}$, so würde es mit dem corrigirenden Glase unter den gegebenen Bedingungen Sehschärfe $0{\cdot}667 \times \frac{20}{20} = \frac{13{\cdot}34}{20}$ aufweisen.

Wenn also ein Auge mit Myopie $^1/_3$, dessen Myopie durch Axenverlängerung bedingt, und durch ein $1''$ vor k gesetztes Concavglas von $2''$ B. W. corrigirt wird, die Schrift XX Snellen auf $13{\cdot}34'$ liest, so ist dessen Sehschärfe gleichwerthig mit jener, die ein emmetropisches Auge darbietet, wenn es dieselbe Schrift auf $20'$ erkennt.

Digitized by Google

Die nächste Frage, die wir zu beantworten haben, lautet: Welches ist der Einfluss des corrigirenden Glases, falls die Myopie $^1/_3$ nicht durch Axenverlängerung, sondern durch stärkere Brechkraft des dioptrischen Systems bedingt wäre, oder falls ein vortrefflich accommodirendes Auge ein so starkes Concavglas durch Accommodation überwinden würde. Den Fall führt uns Fig. 45 vor. Da bietet das Auge A mit

Fig. 45.



der Länge $cm = 20$ M$^{m.}$ $M^1/_3$ dar, weil die Krümmung der brechenden Fläche nicht 5, sondern 4·18 M$^{m.}$ (siehe pag. 157) beträgt, der Knotenpunkt k also nicht 5, sondern 4·18 M$^{m.}$ hinter c liegt. Der Werth von $km = g_2$ ist demnach 15·82 M$^{m.}$ $k_2m = g_1$ finden wir, wie bekannt, durch die Formel $F_1 = \frac{\varphi_1 f}{\varphi_1 + f - d}$. φ_1 (und φ_2) haben jetzt natürlich nicht die Werthe von 15, resp. 20 M$^{m.}$, werden ja doch durch die stark brechende Fläche parallele Strahlen vor der Netzhaut vereinigt!

Allein φ_1 und φ_2 sind sehr leicht zu bestimmen. Es ist nämlich $\varphi_1 = \frac{n_1 \varrho}{n_2 - n_1}$, $\varphi_2 = \frac{n_2 \varrho}{n_2 - n_1}$ und da für unser Auge $n_1 = 1$, $n_2 = {}^4/_3$, so ist für alle derartigen Rechnungen $\varphi_1 = 3\varrho$ und $\varphi_2 = 4\varrho$, im speciellen Falle $\varphi_1 = 12{\cdot}54$ und $\varphi_2 = 16{\cdot}72$ M$^{m.}$. Die Brennweite des corrigirenden Glases sei wieder — 2 P. Z; dann muss dasselbe wieder Einen Zoll vor dem Knotenpunkt des Auges stehen, also $ok = 27{\cdot}1$ M$^{m.}$ sein. Da ck jetzt 4·18 M$^{m.}$, so ist $d = 22{\cdot}92$, mithin $F_1 = \frac{12{\cdot}54 \times -54{\cdot}2}{12{\cdot}54 - 54{\cdot}2 - 22{\cdot}92} = 10{\cdot}52 = g_1$. Daher

$$\beta_1 : \beta_2 = 10{\cdot}52 : 15{\cdot}82$$

Digitized by Google

und $\beta_1 = 0{\cdot}665\ \beta_2$ sowie $\beta_2 = 1{\cdot}504\ \beta_1$.

S wäre dann mit Glas $\frac{13{\cdot}3}{20}$, falls sie ohne Glas $\frac{20}{20}$ gleichkäme.

Wir sehen, dass in unserem Falle die verkleinernde Wirkung des Glases ungefähr dieselbe ist, sei es, dass die Myopie durch Verlängerung der Axe, sei es, dass sie durch stärkere Brechkraft des Auges erzeugt wird.

Wie finden wir nun, wenn in einem bestimmten Falle, falls ein Auge durch Concav 2, 1″ vor k, corrigirt wird, eine bestimmte Sehschärfe sich ergibt, die Sehschärfe, welche dem Auge eigentlich entspricht? Es zeigt ein solches Auge z. B. unter den genannten Bedingungen $S_1 = \frac{8}{20}$, wie gross ist eigentlich S, falls die verkleinernde Wirkung des Concavglases in Betracht gezogen wird. Die Grösse von $a_2\ b_2 = \beta_1$ ist durch $S_1 = \frac{8}{20}$ gegeben. Gesucht wird $a_3\ b_3 = \beta_2$, ausdrückbar durch S. Es ergab sich $\beta_2 = 1{\cdot}5\ \beta_1$ für das lange und $\beta_2 = 1{\cdot}504\ \beta_1$ für das stark brechende Auge. Demnach ist $S = 1{\cdot}5 \times \frac{8}{20} = \frac{12}{20}$, resp. $1{\cdot}504 \times \frac{8}{20} = \frac{12{\cdot}032}{20}$.

Die Sehschärfe eines solchen Auges ist also um ein Drittel grösser, als sie sich bei der Prüfung mit dem Glase ergibt und es ist 1·5 sowohl für das lange, als für das stark brechende Auge die Vergrösserungszahl, mit welcher jedesmal, so oft ein Auge durch Concav 2, 1″ vor k, corrigirt wird, der gefundene Werth der Sehschärfe multiplicirt werden muss, um die wirkliche Grösse der Sehschärfe zu ermitteln. Nur diese Vergrösserungszahl hat für die Untersuchung einen praktischen Werth, mit dem „Verkleinerungscoefficienten“ des Concavglases ist direct Nichts anzufangen.

Ist diese Vergrösserungszahl für die verschiedenen Concavgläser je nach ihrem Stande vor dem Auge ermittelt und sind die Resultate in eine Tabelle zusammengestellt, dann kann mit Hilfe der letzteren die in einem speciellen Falle bei corrigirter Myopie gefundene Sehschärfe sofort auf das eigentliche Mass zurückgeführt werden.

Ausser dieser verkleinernden Wirkung des Glases interessirt uns noch die Grösse des Netzhautbildes des neutralisirten Auges im Vergleiche mit der Grösse des Bildes des emmetropischen. In Fig. 44 stellt uns $a_1\ b_1 = b$ das Bild dar, welches das emmetropische Auge vom

Digitized by Google

Object ab entwirft. Es verhält sich $b : \beta_1 = kf_2 : k_2 m_2$, d. i. für das lange Auge $b : \beta_1 = 15 : 13{\cdot}26$ und $\beta_1 = 0{\cdot}884\, b$.

Für das stark brechende Auge, (Fig. 45) $b : \beta_1 = 15 : 10{\cdot}52$ und $\beta_1 = 0{\cdot}701\, b$. Machen wir die Sehschärfe nur von der Grösse des Netzhautbildes abhängig, dann würde ein langes Auge mit $M^1/_3$, welches für vergleichbaren Abstand S $1^1/_4$ $\left(\frac{25}{20}\right)$ (siehe pag. 157) darbietet, durch Concav 2 für die Ferne corrigirt nur $S = 0{\cdot}884 \times \frac{20}{20} = \frac{17{\cdot}68}{20}$ zeigen, während ein stark brechendes derartiges Auge, das für 3″ dieselbe S wie ein emmetropisches hat, durch Concav 2 corrigirt $S = 0{\cdot}701 \times \frac{20}{20} = \frac{14{\cdot}02}{20}$ hätte.

Aus Fig. 45 können wir zunächst noch Folgendes lernen. Die Rechnung zeigt, dass in dem gegebenen Falle der 1. Knotenpunkt des Sammelsystems 9·61 M^m· vor dem 2., also 9·61 + 10·52 M^m· vor der Netzhaut gelegen sei. Er fällt demnach, da das Auge eine Länge von nur 20 M^m· hat, 0·13 M^m· vor c, vor den Scheitelpunkt des Auges. Es hat also hiebei eine bedeutende Vorrückung des 1. Knotenpunktes, (um 5·13 M^m· gegen den des emmetropischen Auges), sogar vor das Auge hinaus stattgefunden, der Sehwinkel und dessen Tangente sind verhältnissmässig sehr bedeutend vergrössert, aber das Netzhautbild ist nur 0·7 von dem des emmetropischen Auges, weil eben dessen Grösse und damit auch die Sehschärfe nur von dem Abstande des 2. Knotenpunktes von der Netzhaut abhängt und dieser letztere im gegebenen Falle um 4·48 M^m· gegen die Netzhaut hinter den Knotenpunkt des emmetropischen Auges verschoben ist.

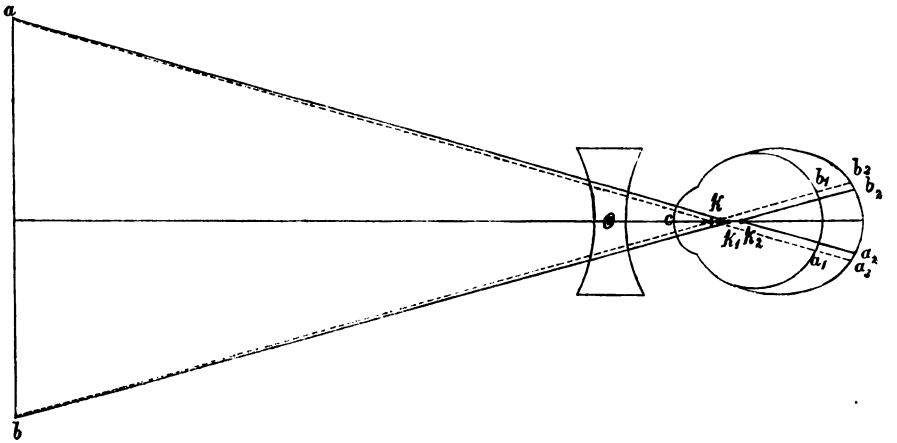
Das Gesetz, nach welchem der 1. und 2. Knotenpunkt sich durch das Vorsetzen von Concavgläsern verschieben, kann uns aber erst klar werden, wenn wir verschiedene Abstände des corrigirenden Glases in Betracht ziehen. Nachdem wir sämmtliche Verhältnisse dargestellt, welche bei der Correction einer $M^1/_3$ durch Concav 2, Einen Zoll vor den Knotenpunkt gestellt, in Betracht kommen, wollen wir zunächst diese Myopie durch ein Concavglas neutralisiren, welches seinen Stand einen halben Zoll vor k einnimmt. Hiezu ist, wie wir sehen werden, ein Glas von $2^1/_2$″ = 67·7 M^m· negativer Brennweite erforderlich.

In dem Auge mit $M^1/_3$ und der Axenlänge von 24·89 M^m· wird (Fig. 46) durch das Vorsetzen von $-\frac{1}{2\frac{1}{2}}$, $^1/_2$″ = 13·54 M^m· vor

Digitized by Google

k, die Lage der Knotenpunkte so geändert, dass der 2. Knotenpunkt k_2 16·58 M$^{m.}$ vor der Netzhaut, der 1. Knotenpunkt k_1 6·42 M$^{m.}$ hinter c liegt, so dass der Abstand beider Knotenpunkte 1·89 M$^{m.}$ beträgt.

Fig. 46.



Der erste Knotenpunkt des Sammelsystems ist also hiebei um 1·42 hinter den Knotenpunkt des unbewaffneten Auges gerückt, der Gesichtswinkel ist also hiebei kleiner geworden, während der 2. Knotenpunkt um 3·31 M$^{m.}$ hinter k wanderte. Es verhält sich

$$\beta_1 : \beta_2 = 16{\cdot}58 : 19{\cdot}89$$

daher $\beta_1 = 0{\cdot}834\ \beta_2$ und $\beta_2 = 1{\cdot}2\ \beta_1$

ferner $\beta_1 : b = 16{\cdot}58 : 15$, folglich $\beta_1 = 1{\cdot}105\, b$

Im stark brechenden Auge mit $M^1/_3$, dessen Länge 20 M$^{m.}$, dessen Radius ck = 4·18 M$^{m.}$, rückt unter den gleichen Umständen k_1 um 0·69, k_2 um 2·66 hinter k, wobei also $k_1\ k_2$ = 1·97 M$^{m.}$, ck_1 = 4·87 und k_2m = 13·16 M$^{m.}$

Es ist dann $\beta_1 : \beta_2 = 13{\cdot}16 : 15{\cdot}82$

folglich $\beta_1 = 0{\cdot}832\ \beta_2$ und $\beta_2 = 1{\cdot}202\ \beta_1$

ferner $\beta_1 : b = 13{\cdot}16 : 15$ und $\beta_1 = 0.877\ b$

Aus den gegebenen Zahlen folgt: Wird $M^1/_3$ durch Concav 2½ corrigirt, dann ist, falls die Sehschärfe des unbewaffneten Auges $\frac{20}{20}$ betragen würde, $S = \frac{16{\cdot}68}{20}$, resp. $\frac{16{\cdot}64}{20}$; die Vergrösserungszahl ist 1·2, resp. 1·202. Im langen Auge hat unter solchen Umständen das Bild einen factisch grösseren Durchmesser als im emmetro-

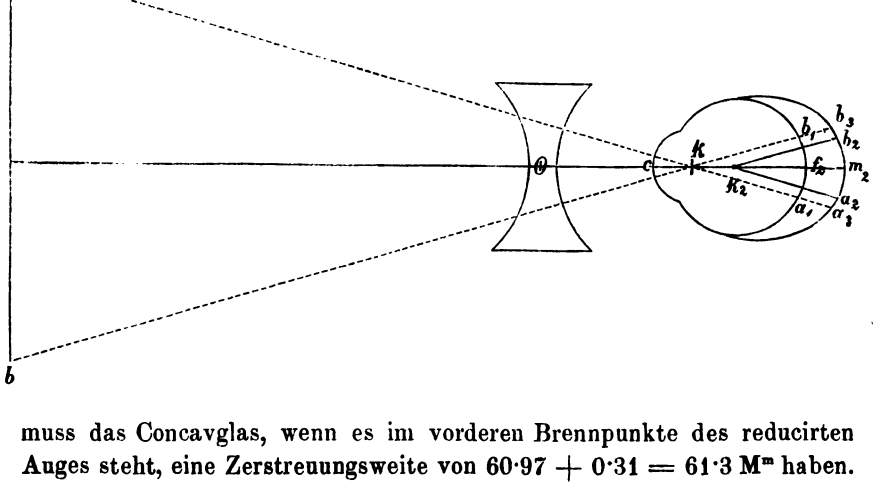
Digitized by Google

pischen. Die Sehschärfe, einzig als Function der Bildgrösse betrachtet, wäre also in einem langen Auge mit $M^1/_3$, dessen Correctionsglas $^1/_2$" vor k steht, noch grösser, als die normale, sie betrüge $\frac{22{\cdot}1}{20}$. Das stark brechende oder durch Accommodation myopisch gemachte Auge wird dagegen auch in diesem Falle eine geringere S, nämlich $\frac{17{\cdot}54}{20}$ darbieten.

Endlich nehmen wir den Fall, dass das Correctionsglas $^3/_4$" = 20·31 M^m· vor dem Knotenpunkte angebracht würde. Es steht dann das optische Centrum des Glases beim reducirten Auge 15·31, beim schematischen, dessen 1. Knotenpunkt 6.957 M^m· hinter der Vorderfläche der Hornhaut liegt, 13·353 M^m vor der Hornhaut. Nun liegt der vordere Brennpunkt beim reducirten Auge 15, beim schematischen 12·918 M^m· vor dem Cornealscheitel. Wir können demnach sagen, dass, wenn wir Myopie (oder Hypermetropie), welche auf abnormer Axenlänge beruht, durch ein Glas, $^3/_4$" vor k, corrigiren, das optische Centrum des Glases hierbei im vorderen Brennpunkte des Auges steht, indem wir die theoretische Differenz von 0·3 — 0·4 M^m· vernachlässigen.

$M^1/_3$ wird (Fig. 47), wenn das Correctionsglas $^3/_4$" vor k, durch Concav $2^1/_4$ (= 60·97 M^m·) corrigirt. Für die theoretische Betrachtung

Fig. 47.



muss das Concavglas, wenn es im vorderen Brennpunkte des reducirten Auges steht, eine Zerstreuungsweite von 60·97 + 0·31 = 61·3 M^m haben. Die Zerstreuungsweite des Glases ist natürlich unter solchen Umständen

Digitized by Google

gleich l_1 d. i. dem Abstande des Fernpunktes vom 1. Brennpunkte, da ja das im vorderen Brennpunkte des Auges stehende Glas die parallelen Strahlen so divergent machen muss, als ob sie vom Fernpunkte, speciell als ob sie von einem 61·3 M^m. abstehenden Punkte herkämen.

Steht o, das Centrum des Glases, im vorderen Brennpunkte des Auges, so heisst dies soviel, dass der Abstand des Punktes o von c, d. i. die Grösse $d = \varphi_1$ ist. Für diesen Fall nun wird x, welches $\varphi_1 + f - d$ darstellt, $= - f$, weil f für Concavgläser einen negativen Werth hat und $- x = f$, daher $F_1 = \frac{- \varphi_1 f}{- f} = \varphi_1 = 15$, ferner $H_1 = \frac{- df}{f} =$ $= - d = - 15$ und, da $d = \varphi_1$ und $f = l_1$, $H_2 = \frac{d \varphi_2}{f} = \frac{\varphi_1 \varphi_2}{l_1} = l_2$ $= 4{\cdot}89$ (pag. 155). Es ist demnach die erste Hauptbrennweite des Sammelsystems der 1. Hauptbrennweite des Auges gleich, und da $H_1 = - d = - \varphi_1$, so fällt der erste Hauptpunkt des Sammelsystems 15 M^m. hinter o, mithin nach c, dem Hauptpunkte des Auges und folglich der erste Brennpunkt nach o, da $co = 15$ M^m. $H_2 = l_2$ sagt, dass der 2. Hauptpunkt des Sammelsystems um so viel hinter dem 2. Hauptpunkt des Auges, also hinter c liegt, als die Verlängerung der Axe beträgt; und da h_1 nach c fällt, so ist $H_2 = h_1 h_2$, folglich auch $= k_1 k_2$.

Es fällt also bei dieser Combination der erste Brennpunkt, der erste Hauptpunkt, und da die Lage des 1. Knotenpunktes von jener des 1. Hauptpunktes abhängig ist, auch der 1. Knotenpunkt des Sammelsystems mit den entsprechenden Punkten des Auges zusammen, also in die Punkte o, c und k, während der 2. Hauptpunkt und demnach auch der 2. Knotenpunkt um so viel nach rückwärts verschoben ist, als die Axenverlängerung des Auges beträgt. Es ist dies Letztere unter den obwaltenden Verhältnissen selbstverständlich. Es ist ja $k_2 m_2 = F_1$, folglich in unserem Falle $= \varphi_1 = 15$, demnach $k_2 m_2 = k f_2$. Es steht also der 2. Knotenpunkt des Sammelsystems von der Netzhaut ebenso weit ab, als im emmetropischen Auge, und da der 1. Knotenpunkt k_1 mit k zusammenfällt, so liegt der 1. Knotenpunkt des Sammelsystems ebensoweit hinter der Cornea, als im emmetropischen Auge. Da demnach der 2. Knotenpunkt des Sammelsystems seine Lage zur Netzhaut und der erste seine Lage zur Hornhaut im Vergleiche mit dem emmetropischen Auge nicht geändert hat, so muss natürlich der Abstand beider Knotenpunkte, $k k_2$, uns die Grösse der Verlängerung der Augenaxe ausdrücken.

Wir fragen nun: Wie gross ist der Gesichtswinkel, wie gross ist β_1 im Vergleiche zu β_2 und zu b? Da der erste Knotenpunkt des

Digitized by Google

Sammelsystems mit dem Knotenpunkte des Auges zusammenfällt, so bleibt der Gesichtswinkel unverändert, und da $k_2 m_2 = k f_2 = 15$, so ist $a_2 b_2 (\beta_1) = a_1 b_1 (b)$.

Es sind dies zwei bemerkenswerthe Facta, welche Knapp zuerst veröffentlicht hat. Wenn das corrigirende Concavglas im vorderen Brennpunkte des Auges steht, so bleibt der Gesichtswinkel unverändert und die Grösse des Netzhautbildes ist dem des emmetropischen Auges gleich, falls die Myopie durch Axenverlängerung bedingt ist.

Die Verkleinerungszahl des Concavglases und die entsprechende Vergrösserungszahl erhalten wir durch die Proportion

$$\beta_1 : \beta_2 = 15 : 19{\cdot}89$$

und daraus $\beta_1 = 0{\cdot}754\,\beta_2$ und $\beta_2 = 1{\cdot}326\,\beta_1$.

Wäre $M^1/_3$ durch stärkere Brechkraft des dioptrischen Systems bedingt, und wollten wir dieses Auge unter ähnliche Verhältnisse wie das lange Auge bringen, dann müsste das entsprechende Correctionsglas 12·54 $M^{m\cdot}$ vor c gesetzt werden, da der vordere Brennpunkt unter diesen Umständen 12·54 (siehe pag. 176) vor dem Auge liegt. Thun wir dies, dann fällt k_1 auf k, d. i. 4·18 $M^{m\cdot}$ hinter c und $k_2 m$ ist gleich 12·54 $M^{m\cdot}$, daher $k k_2 = 20 - (4{\cdot}18 + 12{\cdot}54) = 20 - 16{\cdot}72 = 3{\cdot}28$ $M^{m\cdot}$

Es ist dann $\beta_1 : \beta_2 = 12{\cdot}54 : 15{\cdot}82$

mithin $\beta_1 = 0{\cdot}793\,\beta_2$ und $\beta_2 = 1{\cdot}262\,\beta_1$

weiterhin $\beta_1 : b = 12{\cdot}54 : 15$

und $\beta_1 = 0.836\ b$

Die Werthe von β_1 und β_2 stimmen diesmal nicht so wie in den beiden früheren Beispielen mit jenen, welche für das lange Auge gewonnen wurden, weil ja der Abstand des Glases vom Auge thatsächlich ein anderer, ein solcher von 12·54 $M^{m\cdot}$, gegen jenen von 15 $M^{m\cdot}$ ist.

Eilfte Vorlesung.

Die Gesetze für Concav- und Convexgläser. Die Sehschärfe des corrigirten hypermetropischen Auges.

Meine Herren! Nach den in der letzten Vorlesung gegebenen Beispielen sind wir endlich in der Lage, die folgenden Gesetze für die Wirkung der Concavgläser aufzustellen.

1. Durch die Vorsetzung eines Concavglases vor das Auge zur Correction der Myopie rückt der **zweite** Knotenpunkt **unter allen Umständen** nach rückwärts gegen die Netz-

Digitized by Google

haut und zwar **um so mehr, je weiter** das corrigirende Glas vor dem Auge steht, je stärker es also in Folge dessen ist.

Für $M^1/_3$, bedingt durch Verlängerung der Augenaxe, beträgt diese Zurücklagerung des zweiten Knotenpunktes, je nachdem das Correctionsglas $^1/_2$, $^3/_4$ oder Einen ganzen Zoll vor k steht, 3·31, 4·89 und 6·63 M^m.

2. Da mit der Annäherung des zweiten Knotenpunktes an die Netzhaut das Retinalbild kleiner wird, so folgt daraus, dass Concavgläser unter allen Umständen das letztere verkleinern und zwar für das nämliche Auge umsomehr, je weiter das corrigirende Concavglas vor demselben steht. Bezeichnet g_1 den Abstand des zweiten Knotenpunktes von der Netzhaut im corrigirten und g_2 den entsprechenden Abstand im nicht corrigirten Auge, dann ist der Bruch $\frac{g_1}{g_2}$ die Verkleinerungszahl für das Netzhautbild, und $\frac{g_2}{g_1}$ die Vergrösserungszahl, mit welcher die sich factisch ergebende Sehschärfe des corrigirten myopischen Auges multiplicirt werden muss, um den wirklichen Werth derselben zu erhalten.

Für das lange Auge mit $M^1/_3$ beträgt die Vergrösserungszahl, je nachdem das Glas $^1/_2$, $^3/_4$ oder 1″ vor k steht, in runder Ziffer: $\frac{5}{4}$, $\frac{4}{3}$, $\frac{3}{2}$; die entsprechende Verkleinerungszahl des Bildes ist natürlich $^4/_5$, $^3/_4$, $^2/_3$.

Die Verkleinerungs-, resp. Vergrösserungszahl ist caeteris paribus bei einer Myopie bestimmten Grades **für praktische Zwecke** als **dieselbe** anzusehen, sowohl für den Fall, dass die Myopie **durch Verlängerung der Axe**, als auch für den Fall, dass sie **durch stärkere Brechkraft des dioptrischen Systems** (resp. durch Accommodation) erzeugt wird.

Dieses interessante Factum ergibt die Rechnung, die eben nur unbedeutende Differenzen in dieser Hinsicht aufdeckt.

3. Vergleicht man nicht die Grösse des Bildes des corrigirten Auges mit jener, welche es hätte, falls ohne Corectionsglas deutliche Bilder ferner Objecte entworfen werden könnten, (wie wir dies soeben gethan), sondern mit der Grösse des Bildes, welches ein emmetropisches Auge von dem gleichen Objecte entwirft, dann ergibt sich, dass

Digitized by Google

im corrigirten **verlängerten** Auge das **verkleinerte** Bild doch noch insolange **grösser** ist wie im emmetropischen, als das Correctionsglas **zwischen** vorderem Brennpunkt und Auge steht; dass es demselben **gleich** wird, falls das Centrum des Glases **in** den vorderen Focus des Auges fällt; und dass erst, wenn das Glas **um mehr** als die vordere Augenbrennweite absteht, eine **Verkleinerung** des Bildes im Vergleiche mit dem des emmetropischen Auges eintritt.

Für das Auge, dessen Myopie durch stärkere Brechkraft oder durch Accommodation erzeugt ist, wird das Bild durch Anwendung eines Concavglases unter allen Umständen, selbst wenn *ok* nur $^1/_2$″ beträgt, kleiner, als das des emmetropischen (nicht accommodirenden), und ist daher auch immer kleiner, als das entsprechende Bild des **langen** Auges.

Für das lange Auge mit $M\,^1/_3$ ist die Grösse des Bildes des corrigirten Auges, wenn $ok = ^1/_2$″, noch 1·105 *b*, dagegen, falls $ok = 1$″, nur 0·884 *b*. — Für das stark brechende Auge sind die entsprechenden Werthe 0·877 *b* und 0·7 *b*, wobei *b* die Grösse des Bildes im emmetropischen Auge bedeutet.

4. und endlich interessirt uns noch das Verhalten des **ersten** Knotenpunktes. In Betreff dieses letzteren gilt das Gesetz, dass derselbe, solange das corrigirende Concavglas **zwischen** dem Auge und dessen vorderem Brennpunkte steht, **hinter** dem ersten Knotenpunkte des unbewaffneten Auges gelegen ist, dass er, sowie das Correctionsglas **in** den vorderen Brennpunkt des Auges tritt, die **gleiche Lage**, wie im nicht corrigirten Auge hat und endlich **vor** seinen ursprünglichen Ort zu liegen kommt, sowie das Correctionsglas **weiter** vom Auge absteht, als des letzteren vorderer Brennpunkt.

Da von der Lage des ersten Knotenpunktes die Grösse des Gesichtswinkels abhängig ist, so ergibt sich die interessante Thatsache, **dass Concavgläser den Gesichtswinkel nur verkleinern, so lange ihre verkleinernde Wirkung die geringste ist, so lange das Netzhautbild des verlängerten Auges noch grösser ist, als das des emmetropischen**; dass der Gesichtswinkel **mit dem Vorrücken** und **Stärkerwerden des Glases** und dem gleichzeitig einhergehenden **Kleinerwerden** des Netzhautbildes **zunimmt** und **die gleiche Grösse** wie im unbewaffneten verlängerten Auge hat, wenn

Digitized by Google

gleichzeitig auch das Netzhautbild des letzteren **die gleiche Grösse** wie im emmetropischen Auge aufweist; dass endlich, **wenn ein noch weiteres Vorrücken des Glases und ein Sinken der Grösse des Bildes unter das des emmetropischen Auges eintritt, der Gesichtswinkel grösser als der normale wird, und zwar um so grösser, je weiter das Glas vor dem Auge steht, je stärker es in Folge dessen ist und je mehr es verkleinert.**

Es ist daher vollkommen unrichtig, den verkleinernden Einfluss eines Concavglases durch die Verkleinerung des Gesichtswinkels erklären und auf diese Weise sogar berechnen zu wollen, **da die stärkste Verkleinerung des Netzhautbildes mit der retativ grössten und gleichzeitig mit einer absoluten** Vergrösserung des Gesichtswinkels einhergeht.

Die Tabelle III, in welcher auf die im Brillenkasten sich factisch vorfindenden Gläser Rücksicht genommen ist, gibt uns die Daten, welche wir bei der Correction eines Auges durch ein Concavglas zu wissen nöthig haben. Ihre Verwendung ist leicht verständlich, und wird es noch mehr werden, bis über die Correction der Myopie durch Concavgläser ausführlicher gehandelt worden ist. Gesetzt, es würde ein Auge durch Concav 2, welches $^1/_2$ Zoll vor den Knotenpunkt, also $^1/_4$ Zoll vor die Cornea gestellt wird, corrigirt. Wir suchen in der Columne III Concav 2 und ersehen aus den in eine Linie neben einander gestellten Werthen: dass es sich hiebei um eine $M\,\frac{1}{2{\cdot}5}$ handelt; dass in einem solchen Falle, falls die Myopie durch Verlängerung des reducirten Auges erzeugt wurde, der Abstand des Knotenpunktes von der Netzhaut 21·28 $M^{m\cdot}$ beträgt; dass nach der Correction durch Concav 2 der zweite Knotenpunkt noch 17·03 vor der Netzhaut liegt und dass in Folge dessen die Vergrösserungszahl 1·25 beträgt. Das letztere bedeutet, dass falls bei der Correction durch $-\,\frac{1}{2}$ eine bestimmte Sehschärfe, etwa $S\,\frac{12}{20}$ sich ergibt, die dem Auge de facto zukommende Sehschärfe $\frac{12 \times 1{\cdot}25}{20} = \frac{15}{20}$ beträgt. Die gleiche Vergrösserungszahl findet ihre Anwendung, falls die Myopie durch stärkere Krümmung der brechenden Flächen des Auges erzeugt wäre.

Digitized by Google

Tabelle III.

Grad der Myopie	Abstand des Knotenpunktes im langen Auge von der Netzhaut.	Corrigirt durch das $\frac{1}{2}$" vor K gesetzte Concavglas	Abstand des 2. Knotenpunktes des Sammelsystems von der Netzhaut	Vergrösserungszahl	Corrigirt durch das $\frac{3}{4}$" vor K gesetzte Concavglas	Abstand des 2. Knotenpunktes des Sammelsystems	Vergrösserungszahl
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
$\frac{1}{2}$	23·77	— $1\frac{1}{2}$	17·83	1·333	— $1\frac{1}{4}$	15	1·584
$\frac{1}{2\cdot5}$	21·28	— 2	17·03	1·250	— $1\frac{3}{4}$	15	1·419
$\frac{1}{3}$	19·89	— $2\frac{1}{2}$	16·58	1·200	— $2\frac{1}{4}$	15	1·326
$\frac{1}{3\cdot5}$	19·01	— 3	16·29	1·167	— $2\frac{3}{4}$	15	1·267
$\frac{1}{4}$	18·31	— $3\frac{1}{2}$	16·10	1·137	— $3\frac{1}{4}$	15	1·221
$\frac{1}{5}$	17·60	— $4\frac{1}{2}$	15·83	1·112	— $4\frac{1}{4}$	15	1·173
$\frac{1}{6}$	17·10	— $5\frac{1}{2}$	15·68	1·091	— $5\frac{1}{4}$	15	1·140
$\frac{1}{7}$	16·77	— $6\frac{1}{2}$	15·57	1·077	.	.	.
$\frac{1}{8\cdot5}$	16·43	— 8	15·46	1·063	.	.	.
$\frac{1}{10\cdot5}$	16·13	—10	15·37	1·049	.	.	.
$\frac{1}{15\cdot5}$	15·75	—15	15·24	1·033	.	.	.
$\frac{1}{30\cdot5}$	15·37	—30	15·12	1·017	.	.	.
$\frac{1}{60\cdot5}$	15·19	—60	15·06	1·009	.	.	.

Ein anderes Beispiel. Es werde die Correction durch Concav $2\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$" vor der Cornea, also $\frac{3}{4}$" vor dem Knotenpunkt stehend, herbeigeführt. Wir suchen nun in Columne VI — $2\frac{3}{4}$; wir ersehen, dass hierbei eine $M\ \frac{1}{3\frac{1}{2}}$ neutralisirt wird und die Vergrösserungszahl

Digitized by Google

1·267 beträgt, also eine sich etwa ergebende Sehschärfe $\frac{20}{30}$ die Bedeutung von $\frac{20 \times 1{\cdot}267}{30}$, also von $\frac{25{\cdot}34}{30}$ hat.

Bei den schwächeren Gläsern, deren verkleinernde Wirkung ohnehin eine fast zu vernachlässigende ist, ist nur Ein Abstand vom Auge, jener, welcher bei den Sehprüfungen in Wirklichkeit in der Regel eingehalten wird, (der von $^1/_2$" vor k nämlich) in Betracht gezogen. Wird etwa eine bestimmte Myopie durch Concav 8 corrigirt, dann besteht $M \frac{1}{8^1/_2}$, eine Sehschärfe $\frac{20}{20}$ hat den Werth von $\frac{20 \times 1{\cdot}063}{20}$, d. i. von $\frac{21{\cdot}26}{20}$. Oder: Concav 60 corrigirt $M \frac{1}{60{\cdot}5}$, ändert den Werth von S aber so unbedeutend, $\left(\frac{20}{20} \text{ ist } \frac{20{\cdot}18}{20}\right)$ dass die Glaswirkung vollständig vernachlässigt werden kann, wie denn überhaupt jedes Glas, das, schwächer als $-\frac{1}{10}$, $^1/_4$ Zoll vor das Auge gesetzt wird, so wenig verkleinernd wirkt, dass eine mit Hilfe des Glases als $\frac{20}{20}$ befundene Sehschärfe in Wirklichkeit einer Sehschärfe, die kleiner als $\frac{21}{20}$ ist, gleichkommt.

Wenden wir uns nunmehr zur Wirkungsweise der Convexgläser.

1. Corrigirt man in Fig. 48 $H^1/_3$ (erzeugt durch Verkürzung des reducirten Auges um 2·96 $M^{m.}$) dadurch, dass man ein Convexglas $^1/_2$" vor k stellt, so ist hierzu — wovon später (pag. 205) — ein Glas von $3^1/_2$" = 94·8 $M^{m.}$ Brennweite erforderlich. Im combinirten System liegt dann, wie die Rechnung ergibt, der 2. Knotenpunkt 3 Millimeter, der erste 4·14 $M^{m.}$ hinter dem Scheitelpunkt des Auges. Beide Knotenpunkte sind demnach vorgerückt, der zweite jedoch stärker als der erste (der zweite um 2, der erste um 0·86 $M^{m.}$) so zwar, dass der 2. Knotenpunkt vor dem ersten sich findet. Der Gesichtswinkel ist grösser geworden und ebenso das Netzhautbild.

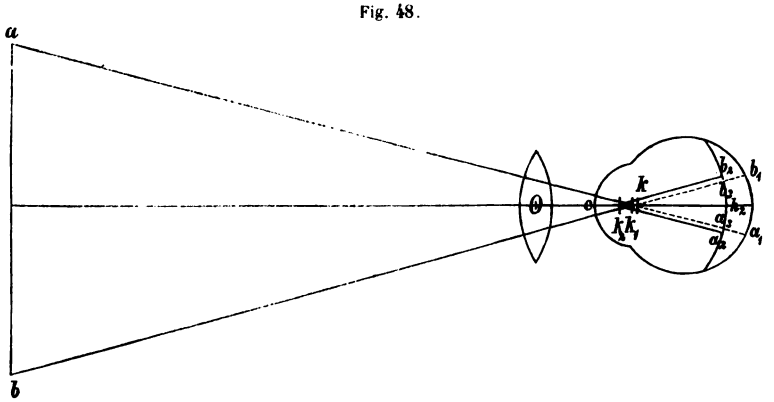
Die Specialwerthe sind folgende: Die Grösse des Bildes des corrigirten Auges, $a_2 b_2 = \beta_1$, verhält sich zu jener, die das Bild des nicht corrigirten, $a_3 b_3 = \beta_2$, hätte, wie $k_2 h_2 = 14{\cdot}04$ zu $k h_2 = 12{\cdot}04$ also $\beta_1 : \beta_2 = 14{\cdot}04 : 12{\cdot}04 = 1{\cdot}166 : 1 = 1 : 0{\cdot}858$

und $\beta_1 = 1{\cdot}166\, \beta_2$, $\beta_2 = 0{\cdot}858\, \beta_1$.

Digitized by Google

Da, wie aus diesen Zahlen ersichtlich, die Convexgläser das Netzhautbild vergrössern, so muss die Sehschärfe, welche ein mit einem Convexglase bewaffnetes Auge darbietet, dadurch auf das richtige

Fig. 48.



Maass reducirt werden, dass man dieselbe mit einer bestimmten Grösse, der Verkleinerungszahl, multiplicirt. Diese Zahl ist in unserem Falle 0·858. Ein kurzes Auge mit $H^1/_3$ hat, falls seine Sehschärfe, mit $+\frac{1}{3^1/_2}$, $\frac{20}{20}$ beträgt, eigentlich eine Sehschärfe von $\frac{20}{20} \times 0{\cdot}858 = \frac{17{\cdot}16}{20}$.

Wir fragen weiter: Wie verhält sich die Grösse des Netzhautbildes β_1 des durch ein Glas neutralisirten kurzen Auges mit $H^1/_3$ zu jener, β_3, die es hätte, falls es seine H durch Accommodation decken würde. Im letzteren Falle beträgt der Abstand des Knotenpunktes von der Netzhaut 12·78 M^m· (s. pag. 159) daher

$$\beta_1 : \beta_3 = 14{\cdot}04 : 12{\cdot}78 = 1{\cdot}099 : 1$$

mithin $\beta_1 = 1{\cdot}099\ \beta_3$.

Das Bild des durch ein Glas corrigirten Auges ist also 1·1 mal so gross, als das des accommodirenden.

Ferner: Wie verhält sich β_1 zu $a_1\ b_1 = b$, dem Bilde, welches das emmetropische Auge vom Objecte ab entwirft? Es ist

$$\beta_1 : b = 14{\cdot}04 : 15 = 0{\cdot}936 : 1$$

$$\text{und } \beta_1 = 0{\cdot}936\ b.$$

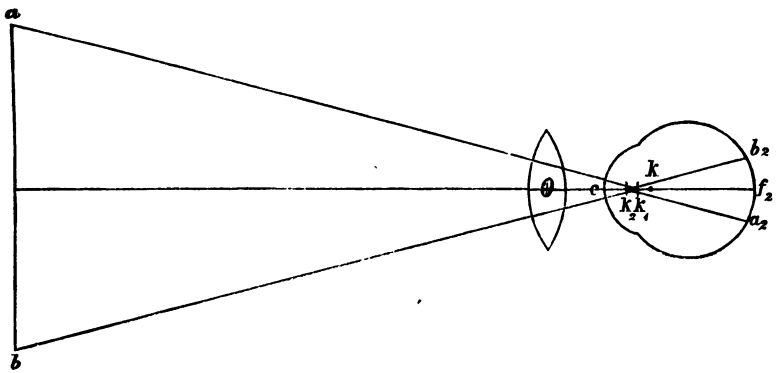
Wiewohl demnach das Bild durch das Convexglas vergrössert wird, erreicht es doch in diesem Falle noch nicht den Durchmesser des Bildes des emmetropischen Auges. Resumé: Wird ein durch Axen-

Digitized by Google

verkürzung hypermetropisches Auge durch ein Convexglas, welches ½" vor dem Knotenpunkte oder, allgemein gesprochen, welches zwischen dem Auge und dessen vorderem Brennpunkte steht, corrigirt, dann wird abgesehen von der Vergrösserung des Netzhautbildes, (welches immer grösser ist, als jenes, welches das seine *H* durch Accommodation deckende Auge entwirft) der Gesichtswinkel vergrössert, während das vergrösserte Bild den Durchmesser des Bildes des emmetropischen Auges noch nicht ereicht.

Ist die Hypermetropie durch schwächere Brechkraft des reducirten Auges erzeugt, dann beträgt der Radius der brechenden Fläche 6·05 M^m·, (daher $ck = 6{\cdot}05$), da wegen des negativen Werthes von a (s. pag. 157) $\varrho = \frac{5\,a}{a-15} = \frac{5 \times 86{\cdot}3}{71{\cdot}3} = 6{\cdot}05$. In diesem Auge ist $\varphi_1 = 18{\cdot}15$ und $\varphi_2 = 24{\cdot}2$ M^m· Corrigirt durch Convex 3½, (Fig. 49)

Fig. 49.



hat das Auge seinen 2. Knotenpunkt 3·65, seinen ersten 4·61 M^m· hinter c; $k_1\,k_2 = 0{\cdot}96$, $k\,k_1 = 1{\cdot}44$, $k\,k_2 = 2{\cdot}4$ M^m· Es ist der Gesichtswinkel vergrössert, ferner

$$\beta_1 : \beta_2 = k_2 f_2 : k f_2 = 16{\cdot}35 : 13{\cdot}95 = 1{\cdot}172 : 1 = 1 : 0{\cdot}853$$

daher $\beta_1 = 1{\cdot}172\ \beta_2$ und $\beta_2 = 0{\cdot}853\ \beta_1$.

Die Verkleinerungszahl: 0·853 ist, wie wir sehen, mit der für das kurze Auge gewonnenen nahezu übereinstimmend. Eine $S\,\frac{20}{20}$ (mit Hilfe des corrigirenden Glases sich ergebend), ist zu reduciren auf $0{\cdot}853 \times \frac{20}{20} = \frac{17{\cdot}06}{20}$.

Digitized by Google

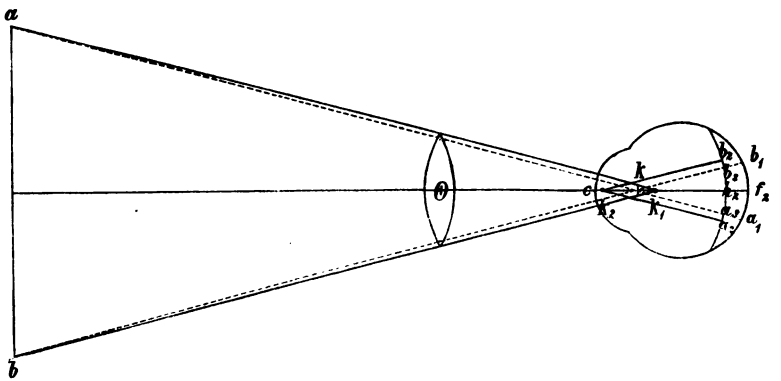
Dagegen ist das Bild grösser als das des emmetropischen Auges b.

Denn $\beta_1 : b = 16{\cdot}35 : 15$ und $\beta_1 = 1{\cdot}09\ b$.

Der Ausdruck $\beta_1 = 1{\cdot}09\ b$ zeigt uns zugleich an, um wiel des Bild des durch das Glas emmetropisch gemachten Auges grösser ist, als das Bild des durch Accommodation sich neutralisirenden.

2. Corrigirt man (Fig. 50) das kurze Auge mit $H^1/_3$ durch ein Glas, welches einen ganzen Zoll vor dem Knotenpunkte steht, dann muss hiezu

Fig. 50.



Convex 4 verwendet werden. Die Rechnung ergibt, dass in dem Sammelsysteme der zweite Knotenpunkt um 4·01 M^m. (also um das Doppelte im Vergleiche mit der früheren Correction) vor-, der erste Knotenpunkt hingegen um 1·9 M^m. zurückgerückt ist. Der Gesichtswinkel ist kleiner geworden, als der des emmetropischen Auges, während die durch die Convexlinse gesetzte Vergrösserung einen hohen Grad erreicht hat. Es ist

$$\text{I. } a_2 b_2 : a_3 b_3 = \beta_1 : \beta_2 = 16{\cdot}05 : 12{\cdot}04 = 1{\cdot}341 : 1 = 1 : 0{\cdot}750$$

$$\beta_1 = 1{\cdot}341\ \beta_2 \text{ und } \beta_2 = 0{\cdot}75\ \beta_1$$

$$\text{II. } a_2 b_2 : a_1 b_1 = \beta_1 : b = 16{\cdot}05 : 15 = 1{\cdot}07 : 1$$

$$\beta_1 = 1{\cdot}07\ b$$

$$\text{III. } \beta_1 : \beta_3 = 16{\cdot}05 : 12{\cdot}78 = 1{\cdot}256. : 1$$

$$\beta_1 = 1{\cdot}256\ \beta_3$$

Die drei Gleichungen sagen:

I. Die Vergrösserung des Bildes beträgt unter solchen Verhältnissen $^4/_3$, die Verkleinerungszahl ist $^3/_4$, $S\frac{20}{20}$ mit Glas ist de facto gleich $S\frac{15}{20}$.

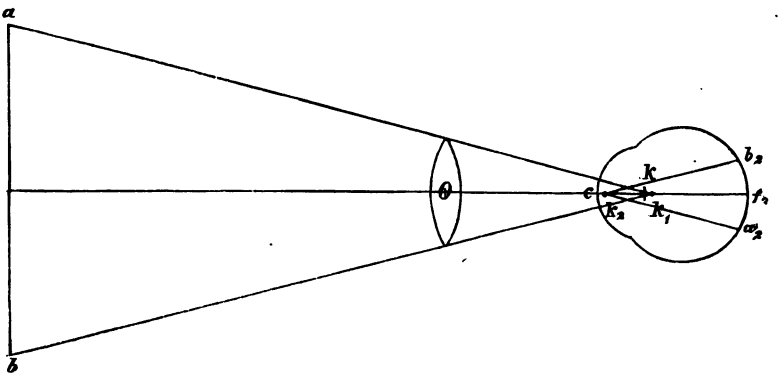
II. Das Bild des neutralisirten Auges ist grösser, als das des emmetropischen, 1·07 desselben.

Digitized by Google

III. Das Bild des neutralisirten Auges ist $^5/_4$ mal so gross, als das des accommodirten.

Auch im schwach brechenden Auge mit $H^1/_3$ (Fig. 51) rückt, wenn wir dasselbe durch Convex 4, 1″ vor k, corrigiren, der erste Knotenpunkt zurück (und zwar um 0·66 $M^{m.}$), während der zweite Knotenpunkt um 4·74 $M^{m.}$ avancirt.

Fig. 51.



Es ist $\beta_1 : \beta_2 = 18{\cdot}69 : 13{\cdot}95 = 1{\cdot}340 : 1 = 1 : 0{\cdot}746$

$\beta_1 = 1{\cdot}34\ \beta_2$ und $\beta_2 = 0{\cdot}746\ \beta_1$

ferner $\beta_1 : b = 18{\cdot}69 : 15 = 1{\cdot}246 : 1$

$\beta_1 = 1{\cdot}246\ b.$

Wir sehen, es stimmt die Verkleinerungszahl ($^3/_4$) mit jener des früheren Falles. Das Bild des corrigirten Auges ist $^5/_4$ von jenem des emmetropischen oder des durch Accommodation die Hypermetropie deckenden.

3. Corrigiren wir das kurze Auge mit $H^1/_3$ durch ein Glas, welches $^3/_4$″ vor k steht, so ist hiezu Convex $3^3/_4$ nöthig. Indem wir dies thun, haben wir ein Glas angewendet, welches als in dem vordern Brennpunkte des Auges stehend angesehen werden kann (s. pag. 180). Ganz ähnliche Betrachtungen, wie sie für Concavgläser angestellt wurden, führen zu dem Resultate, dass in diesem Falle der erste Brenn-, Haupt- und Knotenpunkt des Sammelsystems an derselben Stelle, wie im Auge liegen, und dass der zweite Haupt- und Knotenpunkt des Sammelsystems ebensoweit vor der Netzhaut des verkürzten Auges, als wie im emmetropischen Auge steht, der zweite Knotenpunkt also um dieselbe Grösse vorrückt, um welche das Auge verkürzt wurde, in specie also um 2·96 $M^{m.}$

In diesem Falle hat der Gesichtswinkel durch das Vorsetzen des Glases keine Aenderung erfahren, das Bild ist, weil $k f_2 = k_2 h_2 = 15$,

Digitized by Google

dem des emmetropischen Auges gleich, und weil

$$\beta_1 : \beta_2 = 15 : 12{\cdot}04 = 1{\cdot}246 : 1,$$

$^5/_4$mal so gross als das des nicht corrigirten Auges wäre, die Verkleinerungszahl ist $^4/_5$ (0·803). Das Bild ist ferner 1·174mal so gross, als das des genau accommodirenden.

Sollen für das schwach brechende Auge die entsprechenden Verhältnisse gesetzt werden, so muss das corrigirende Glas 18·15 M$^{m.}$ vor der brechenden Fläche stehen, seine Brennweite also um 3·15 M$^{m.}$ grösser sein. Es fällt dann k_1 auf k, also 6·05 M$^{m.}$ hinter c und k_2 f_2 beträgt 18·15 M$^{m.}$; k_1 k_2 ist demnach $= (6{\cdot}05 + 18{\cdot}15) - 20 = 24{\cdot}2 - 20$ $= 4{\cdot}2$ M$^{m.}$

Während der erste Knotenpunkt seinen Ort beibehielt, ist der zweite um 4·2 M$^{m.}$ vorgerückt. Es verhält sich

$$\beta_1 : \beta_2 = 18{\cdot}15 : 13{\cdot}95 = 1{\cdot}301 : 1 = 1 : 0{\cdot}769$$

$$\beta_1 = 1{\cdot}301\ \beta_2 \text{ und } \beta_2 = 0{\cdot}769\ \beta_1.$$

Die Zahlen differiren etwas mehr von den für das kurze Auge gewonnenen — aus demselben Grunde, der schon bei der entsprechenden Gelegenheit früher (pag. 182) erörtert wurde.

Nunmehr ist es uns möglich, auch die für Convexgläser geltenden Gesetze darzulegen. Sie lauten:

1. Wird zur Correction der Hypermetropie ein Convexglas vor das Auge gesetzt, so rückt der **zweite** Knotenpunkt **unter allen Umständen** nach vorne gegen die Cornea und zwar **um so mehr, je weiter** das corrigirende Glas vor dem Auge steht, je schwächer es demnach ist.

Für $H^1/_3$, bedingt durch Verkürzung der Augenaxe, beträgt diese Vorrückung des zweiten Knotenpunktes, je nachdem das Correctionsglas $^1/_2$, $^3/_4$ oder Einen ganzen Zoll vor k steht, 2, 2·96, 4·01M$^{m.}$

2. Da mit der Entfernung des zweiten Knotenpunktes von der Netzhaut das Retinalbild grösser wird, so folgt daraus, dass Convexgläser unter allen Umständen dasselbe vergrössern und zwar für das nämliche Auge umsomehr, je weiter das corrigirende Convexglas vor demselben steht.

Bezeichnet g_1 den Abstand des 2. Knotenpunktes von der Netzhaut im corrigirten, und g_2 den entsprechenden Abstand im nicht corrigirten Auge, dann ist der Bruch $\frac{g_1}{g_2}$ die Vergrösserungszahl für das Netzhautbild, und $\frac{g_2}{g_1}$ die Verkleinerungszahl, mit welcher die sich factisch ergebende

Digitized by Google

Sehschärfe des corrigirten hypermetropischen Auges multiplicirt werden muss, um den wirklichen Werth derselben zu erhalten.

Für das kurze Auge mit $H^1/_3$ beträgt die Verkleinerungszahl, je nachdem das Glas $^1/_2$, $^3/_4$ oder 1″ vor K steht, in runder Ziffer: $^6/_7$, $^4/_5$, $^3/_4$; die entsprechende Vergrösserungszahl des Bildes ist natürlich $^7/_6$, $^5/_4$, $^4/_3$.

Die Vergrösserungs-, resp. Verkleinerungszahl ist caeteris paribus bei einer Hypermetropie bestimmten Grades für practische Zwecke als dieselbe anzusehen sowohl für den Fall, dass die Hypermetropie durch Verkürzung der Axe, als auch für den, dass sie durch schwächere Brechkraft des dioptrischen Systems erzeugt wird.

3. Vergleicht man die Grösse des Bildes des corrigirten Auges mit jener, welche es hätte, falls dasselbe seine Hypermetropie durch Accommodation decken würde, so ist das Bild in ersterem Falle immer grösser als in letzterem. Für das kurze Auge mit $H^1/_3$ drücken die Zahlen 1·099, 1·174, 1·256 das Grössenverhältniss des ersteren Bildes zu letzterem (1) aus, je nachdem durch Convex $3^1/_2$, $3^3/_4$ oder 4 corrigirt wird.

Vergleicht man die Grösse des Bildes des corrigirten Auges mit jener des Bildes, welches ein emmetropisches Auge von dem gleichen Objecte entwirft, so ergibt sich, dass im corrigirten **verkürzten** Auge **das vergrösserte Bild** doch noch **in solange kleiner** ist wie im emmetropischen Auge, **als das Correctionsglas zwischen vorderem Brennpunkt und Auge steht**; dass es demselben **gleich** wird, falls das Centrum des Glases **in** den vorderen Focus des Auges fällt; und dass, sowie das Glas **um mehr** als die vordere Augenbrennweite absteht, **eine Vergrösserung** des Bildes im Vergleiche mit dem des emmetropischen Auges eintritt.

Für das Auge, dessen Hypermetropie von schwächerer Brechkraft des dioptrischen Apparates herrührt, wird das Bild durch das Vorsetzen eines Convexglases unter allen Umständen, selbst wenn ok nur $^1/_2$″ beträgt, grösser als das des emmetropischen und ist daher auch immer grösser, als das entsprechende Bild des kurzen Auges.

Für das kurze Auge mit $H^1/_3$ ist die Grösse des Bildes des corrigirten Auges, wenn $ok = ^1/_2$″, nur $0.936\,b$, dagegen falls $ok = 1$″, $1·07\,b$. Für das schwach brechende Auge sind die entsprechenden Werthe $1·09\,b$ und $1·246\,b$, wobei b die Grösse des Bildes des emmetropischen Auges bedeutet.

Digitized by Google

4. In Betreff der Lageänderungen des **ersten** Knotenpunktes gilt das Gesetz, dass derselbe, so lange das corrigirende Convexglas **zwischen** dem Auge und dessen vorderem Brennpunkte steht, **vor** dem ersten Knotenpunkte des unbewaffneten Auges gelegen ist, dass er sowie das Correctionsglas **in** den vorderen Brennpunkt tritt, die **gleiche** Lage, wie im nicht corrigirten Auge hat und endlich **hinter** seinen ursprünglichen Ort zu liegen kommt, sowie das Correctionsglas **weiter** vom Auge absteht, als des letzteren vorderer Brennpunkt.

Da von der Lage des ersten Knotenpunktes die Grösse des Gesichtswinkels abhängig ist, so ergibt sich, **dass Convexgläser den Gesichtswinkel nur vergrössern, so lange das Netzhautbild des verkürzten Auges noch kleiner ist als das des emmetropischen;** dass der Gesichtswinkel **mit dem Vorrücken** und **Schwächerwerden des Glases** und dem gleichzeitig einhergehenden **Grösserwerden** des Netzhautbildes **abnimmt** und **die gleiche Grösse** wie im unbewaffneten verkürzten Auge hat, wenn gleichzeitig auch das Netzhautbild des letzteren **die gleiche Grösse,** wie im emmetropischen Auge aufweist; dass endlich, **wenn ein noch weiteres Vorrücken des Glases und ein Steigen der Grösse des Bildes über das des emmetropischen Auges eintritt, der Gesichtswinkel kleiner als der normale wird, und zwar um so kleiner, je weiter das Glas vor dem Auge steht, je schwächer es in Folge dessen ist und je mehr es vergrössert.**

Es ist daher vollkommen unrichtig, den vergrössernden Einfluss eines Convexglases durch die Vergrösserung des Gesichtswinkels erklären und auf diese Weise sogar berechnen zu wollen, da die stärksten Vergrösserungen des Netzhautbildes mit der relativ grössten und gleichzeitig mit einer absoluten Verkleinerung des Gesichtswinkels einhergehen.

Tabelle IV zeigt dieselbe Einrichtung für Convexglässer, wie sie Tabelle III für Concavgläser darbietet. Sie lehrt uns z. B., dass wenn ein durch Convex $4^3/_4$ corrigirtes Auge mit Convex 4 $S\,\frac{20}{20}$ darbietet, die diesem Auge eigentlich zukommende Sehschärfe nur $\frac{20 \times 0{\cdot}844}{20}$ d. i. $\frac{16{\cdot}88}{20}$ beträgt. Sie lehrt uns, dass alle Gläser, die, schwächer als

Digitized by Google

Convex 10, $^1/_2$" vor den Knotenpunkt des Auges gesetzt werden, eine so wenig vergrössernde Wirkung ausüben, das $S\frac{20}{20}$ einer Sehschärfe, die grösser als $\frac{19}{20}$ ist, entspricht.

Tabelle IV.

Grad der Hypermetropie	Abstand des Knotenpunktes von der Netzhaut	Corrigirt durch das 1" vor K gesetzte Glas	Abstand des 2. Knotenpunktes des Sammelsystems von der Netzhaut	Verkleinerungszahl	Corrigirt durch das $^3/_4$" vor K gesetzte Glas	Abstand des 2. Knotenpunktes des Sammelsystems von der Netzhaut	Verkleinerungszahl
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
$\frac{1}{2}$	10·96	+ $2^1/_2$	13·69	0·801	+ $2^3/_4$	15	0·731
$\frac{1}{2·5}$	11·58	+ 3	13·90	0·833	+ $3^1/_4$	15	0·772
$\frac{1}{3}$	12·04	+ $3^1/_2$	14·04	0·858	+ $3^3/_4$	15	0·803
$\frac{1}{3·5}$	12·39	+ 4	14·16	0·875	+ $4^1/_4$	15	0·826
$\frac{1}{4}$	12·66	+ $4^1/_2$	14·25	0·888	+ $4^3/_4$	15	0·844
$\frac{1}{5}$	13·07	+ $5^1/_2$	14·38	0·909	+ $5^3/_4$	15	0·871
$\frac{1}{6}$	13·36	+ $6^1/_2$	14·47	0·923	+ $6^3/_4$	15	0·891
$\frac{1}{7}$	13·57	+ $7^1/_2$	14·54	0·933	.	.	.
$\frac{1}{7·5}$	13·66	+ 8	14·57	0·938	.	.	.
$\frac{1}{9·5}$	13·92	+ 10	14·65	0·950	.	.	.
$\frac{1}{14·5}$	14·27	+ 15	14·77	0·966	.	.	.
$\frac{1}{29·5}$	14·63	+ 30	14·88	0·983	.	.	.
$\frac{1}{59·5}$	14·82	+ 60	14·94	0·992	.	.	.

Digitized by Google

Um über die hiermit zum ersten Male aufgestellten Linsengesetze noch durch Anschauung einen Ueberblick zu geben, mögen zwei Tafeln (Tafel I und II) dienen, welche kaum einer Erklärung bedürfen. a_1 b_1 ist die Grösse des Bildes des emmetropischen Auges. Die Lage des ersten und zweiten Knotenpunktes, sowie die Grösse des Netzhautbildes a_2 b_2, welche der Correction der Ametropie durch ein bestimmtes Glas entspricht, ist durch die Verschiedenheit der Farben gekennzeichnet. Tafel I zeigt die Verhältnisse des durch Axenverlängerung mit $M^1/_3$ behafteten, Tafel II jene durch Axenverkürzung $H^1/_3$ darbietenden Auges, in dreimaliger Vergrösserung. Zu Grunde liegt das reducirte Auge.

Zwölfte Vorlesung.

Bestimmung des Fern- und Nahepunktes.

Ausgerüstet mit den bisher erworbenen Kenntnissen wollen wir nun, meine Herren! zu der Darstellung jener Methoden schreiten, durch deren Vermittlung die Bestimmung der Refraction und der Accommodationsbreite des Auges ermöglicht oder wenigstens angestrebt wird. Wenden wir uns zunächst der Bestimmung des Fernpunktes zu.

Die Methoden hiefür sind theils subjective, theils objective. Bei der Anwendung der ersteren sind wir von den Angaben des zu Prüfenden wenigstens theilweise abhängig und es darf uns daher nicht Wunder nehmen, dass wir dabei mitunter den gröbsten Irrthümern verfallen, selbst wenn der zu Untersuchende uns nicht absichtlich irreführt.

Die Methoden besitzen trotzdem eine allgemeine Verbreitung, weil die objective Untersuchung des Refractionszustandes nicht Jedermanns Sache ist. Ich für meine Person jedoch erkläre offen, dass ich in dem Momente mich als incompetent in der Bestimmung der Refraction erklären würde, sowie mir die objective Methode, d. i. die der Bestimmung mit Hilfe des Augenspiegels genommen wäre.

Von den erstgenannten Methoden zur Bestimmung des Fernpunktes steht die folgende obenan. Man stellt den zu Prüfenden in eine Entfernung von 20′ von den Snellen'schen oder anderen adaequaten Schriftproben, und lässt ihn die Buchstaben oder Zeichen, von den grösseren zu den kleineren absteigend, nennen. Ein Emmetrope, welcher seine

Digitized by Google

Accommodation ruhen lässt und normale Sehschärfe besitzt, wird hiebei Nr. XX Snellen ohne Beihilfe eines Glases lesen können, weil, wenn auch die hintere Brennebene des Auges genau mit der percipirenden Netzhautschichte zusammenfiele, also theoretisch genommen, nur von unendlicher Entfernung kommende Strahlen auf jener Schichte gesammelt würden, der Zerstreuungskreis, welchen das Bild eines 20′ abstehenden Punktes auf der Netzhaut entwirft, einen so geringen Durchmesser hat, dass das Auge, welches ja durchgehends an verhältnissmässig groben optischen Fehlern, den der chromatischen und monochromatischen Aberration, leidet, dadurch im Sehen von Buchstaben nicht weiter merklich beirrt wird. Die Rechnung ergibt nämlich, dass unter solchen Umständen der Durchmesser des Punkt-Zerstreuungskreises auf der empfindenden Schichte nur 0·095 M^m· beträgt, falls wir den Durchmesser der Pupille zu 4 Millimetern annehmen. Das Bild des Leuchtpunktes liegt dabei 0·046 M^m· hinter der Netzhaut.

Andererseits ist es klar, dass falls das untersuchte Auge nicht Emmetropie, sondern $M \frac{1}{240}$ (20′ = 240″) darbietet, (eine Myopie, welcher, wenn wir das reducirte Auge von 20 M^m· Länge zu Grunde legen, ein Auge mit einer Axenlänge von 20·046 M^m· entspricht) — ich sage: es ist klar, dass ein solches Auge von dem 20′ abstehenden Objecte vollkommen genaue Bilder entwirft und bei normaler Sehschärfe die Aufgabe, Snellen XX ohne Hilfsglas auf 20′ zu lesen, ebenso gut, theoretisch sogar besser lösen wird, als das emmetropische Auge.

Angenommen also, es besitze das Auge keine Accommodation, so wird der Umstand, dass Snellen XX auf 20′ gelesen wird, zunächst unentschieden lassen, ob es sich um Emmetropie oder $M \frac{1}{240}$ handelt. Allein kann die Myopie nicht noch höheren Grades sein? Wenn wir behaupten, dass falls Strahlen unter den gegebenen Verhältnissen im emmetropischen Auge 0·046 M^m· hinter der Netzhaut zur Vereinigung kommen, die Sehschärfe nicht beeinträchtigt wird, dann dürfte wegen der gleichen Grösse der Zerstreuungskreise ebenso wenig von einer Einflussnahme auf die Sehschärfe die Rede sein, falls der Vereinigungspunkt der Strahlen 0·046 M^m· vor die Retina zu liegen kommt. Dies ist aber bei einem Abstand des Objectes von 20′ dann der Fall, wenn $M \frac{1}{120}$ besteht.

Digitized by Google

Es wird also ein Auge mit $M \frac{1}{120}$ auf 20′ ebenso deutlich sehen, wie ein emmetropisches, das absolut nicht accommodirt; dagegen wird nur das Auge mit $M \frac{1}{240}$ theoretisch wirklich deutliche Bilder entwerfen.

Bietet das Auge auch noch so geringe Hypermetropie, die durch Accommodation nicht gedeckt wird, dar, so stehen die Verhältnisse bei dieser Art der Sehprüfung für dasselbe, wie leicht verständlich, ungünstiger. Denn schon bei $H \frac{1}{240}$ fällt das Bild eines 20′ abstehenden Objectes 0·092 $M^{m.}$ hinter die Netzhaut. Berücksichtigen wir jedoch die factischen Verhältnisse, so muss bedacht werden, dass begreiflicher Weise die factisch bestehende Accommodation derartige Ausfälle an Brechkraft gar nicht bemerkbar werden lässt, wie es ja auch dem emmetropischen Auge frei steht, die Bilder durch Accommodation für das 20′ entfernte Object möglichst scharf zu machen.

Wie wollen wir nun nach dem Gesagten die Emmetropie von den geringsten Graden der Ametropie unterscheiden? Man bezeichnet in der Regel das emmetropische Auge als dasjenige, welches bei der in Rede stehenden Prüfung jedes auch das schwächste Concav- und Convexglas verwirft, d. h. durch das erstere nicht besser, durch das letztere hingegen schlechter sieht und dadurch bekundet, dass es vermöge seiner Refraction eine Linse weder zu viel noch zu wenig hat, also dem Begriffe des Normalauges entspricht. Dem gegenüber muss ausgesprochen werden, dass dasjenige Auge als emmetropisch zu betrachten ist, welches durch Convex 120 keine merkliche Einbusse in seiner Sehschärfe bei der Prüfung auf 20′ erfährt, andererseits aber durch ein stärkeres Convexglas, etwa ein solches von 60″ B. W. bereits entschieden schlechter und durch kein Concavglas besser sieht. Ein emmetropisches Auge wird nämlich durch Convex 120 in ein solches mit $M \frac{1}{120}$ verwandelt und daher noch nicht in seiner Sehschärfe alterirt. Ein Auge mit $M \frac{1}{120}$ hingegen wird ohne Glas auch deutlich in die Ferne sehen, aber durch Vorsetzen von Convex 120 mit $M^{1}/_{60}$ behaftet und nunmehr tritt eine deutliche Verschlechterung des Sehvermögens ein, so zwar, dass die Buchstaben XX nur noch sehr unsicher erkannt werden. Besteht manifeste Hyper-

Digitized by Google

metropie bis $\frac{1}{120}$, dann wird dieselbe durch $\frac{1}{120}$ corrigirt oder es wird minimale Myopie gesetzt, aber auch noch durch Convex 60 wird deutlich gesehen, weil in diesem Falle durch das Glas beiläufig $M^1/_{120}$ erzeugt wird, die ja nicht störend wirkt, während ein vor das emmetropische Auge gesetztes Convex 60 $M^1/_{60}$ erzeugt und die Sehschärfe herabsetzt. Wir sehen nach diesen Erörterungen, dass das emmetropische Auge jenes ist, dessen Sehschärfe durch Convex $^1/_{120}$ nicht, wohl aber schon durch Convex 60 alterirt wird. Sieht ein Auge mit Convex 120 schlechter, dann kommt ihm sehr geringe Myopie, sieht ein Auge durch Convex 60 nicht schlechter (wohl aber schon durch Convex 40), dann kommt ihm minimale manifeste Hypermetropie zu.

Besteht ein erheblicheres Missverhältniss zwischen hinterer Brennweite des Auges und der Lage der percipirenden Netzhautschichte, also ein erheblicherer Grad einer sogenannten Refractionsanomalie, dann wird, wie wir dies früher sahen, auch wenn dem Auge normale Sehschärfe zukommt, bei dieser Prüfung für die Ferne eine mehr oder weniger bedeutende Herabsetzung der Sehschärfe sichtbar werden, und es wurde sogar angegeben, in welchem Grade die verschiedenen Stufen der Anomalien S beeinflussen und wie, wenn der Grund für das hierbei erscheinende geringe Sehvermögen nur in Myopie oder Hypermetropie gelegen ist, aus der Grösse der Sehschärfe ein ungefährer Schluss auf den Werth der Abweichung gezogen werden kann. Es ist ebenso klar, dass, wenn wir die Anomalie corrigiren, d. h. bei bestehender Myopie dem Auge durch Vorsetzung eines bestimmten Concavglases die Convexlinse, die es gleichsam zu viel hat, wegnehmen und bei Hypermetropie dadurch, dass wir vor das Auge eine Convexlinse stellen, die demselben gleichsam fehlende ersetzen — es ist klar, dass das Auge, dadurch dem emmetropischen gleich gemacht, nun die fernen Zeichen zu erkennen in der Lage sein, und dass mit Berücksichtigung der Vergrösserungs-, resp. Verkleinerungszahl eine normale Sehschärfe sich ergeben wird.

Ein Auge hätte $M^1/_5$ und normale Sehschärfe. Aus der Entfernung von 20′ ist es (siehe pag. 152) nicht im Stande Nr. CC von Snellen zu erkennen, seine S ist also kleiner, als $\frac{20}{200}$. Ich setze ein Concavglas $^1/_{60}$, dem $^1/_{30}$ vor, das Auge weiss von keiner Besserung, da auch bei Vorsetzung von $-\ ^1/_{30}$ noch $M^1/_6$ besteht und bei $M^1/_6$ noch immer nicht das grosse A (oder E) auf 20′ erkannt wird. Bei Anwendung stärkerer

Digitized by Google

$$M = \frac{1}{f+d}.$$

Concavgläser tauchen allmälig die Buchstaben der Snellen'schen Reihe der Grösse nach auf. Endlich sind wir bei Concav 5 angelangt. Wir haben ein Auge mit $M^1/_5$, theoretisch nahmen wir dessen Correctur als durch Concav 5 erfolgend an. Wir machen aber in unserem Falle die Beobachtung, dass die grösste Sehschärfe erst dann erreicht wird, wenn wir Concav $4^1/_2$ und dieses Glas nahe, nämlich $^1/_4$" vor das Auge setzen. Hat das Auge eine normale Sehschärfe, so wird es jetzt durch das corrigirende Glas $S\ \frac{18}{20}$ darbieten.

Die Erklärung dafür, dass, wenn der Fernpunkt eines Auges 5" vor dessen Knotenpunkte liegt, das einen halben Zoll vor den Knotenpunkt, also etwa $^1/_4$" vor die Cornea gesetzte Correctionsglas nicht Concav 5 sein kann, sondern $4^1/_2$ sein muss, ist darin zu suchen, dass wir das Correctionsglas eben nicht in den Knotenpunkt hinein postiren können, also zwischen dem ersteren und dem letzteren ein gewisser Zwischenraum bleibt. Ein Auge mit $M^1/_5$ wird parallele Strahlen, als welche wir die von dem 20' entfernten Objecte kommenden jetzt ansehen wollen, auf seiner Netzhaut dann vereinigen, wenn diesen parallelen Strahlen eine solche Richtung gegeben wird, als ob sie von einem 5" vor k gelegenen Punkte herkämen. Durch Concav $4^1/_2$ wird bewirkt, dass die Strahlen gleichsam von einem $4^1/_2$" vor dem optischen Centrum des Glases liegenden Punkte ausstrahlen und steht dieses Centrum $^1/_2$" vor k, dann liegt der virtuelle Leuchtpunkt $4^1/_2 + {}^1/_2 = 5$ Zoll vor k, also im Fernpunkt des Auges und das deutliche Sehen des entfernten Objectes ist damit ermöglicht. Bezeichnet im Allgemeinen $-\frac{1}{f}$ den optischen Werth des corrigirenden Concavglases und ist d der Abstand des optischen Centrums des letzteren vom Augenknotenpunkte, dann ist die Myopie des Auges $= \frac{1}{f+d}$. Wird ein Auge corrigirt durch $-\frac{1}{4\frac{1}{2}}$ und ist $d = {}^1/_2$", dann ist $M = \frac{1}{4\frac{1}{2} + \frac{1}{2}} = \frac{1}{5}$. Ist das Correctionsglas $-\frac{1}{2\frac{1}{4}}$ und $d = {}^3/_4$", so ist $M = \frac{1}{2\frac{1}{4} + \frac{3}{4}} = \frac{1}{3}$. Bewirkt Concav 8, 1" vor k, die Correction, dann ist $M = \frac{1}{8+1} = \frac{1}{9}$.

Die Myopie ist also immer geringer, als der Werth des corrigirenden Glases und man sollte demnach den Werth des letzteren nicht jenem der

Digitized by Google

Myopie gleichstellen. Wenn also z. B. ein Auge durch $-\frac{1}{60}$, $^1/_2$" vor *k* corrigirt wird, so besteht eigentlich $M\frac{1}{60\cdot5}$ und wir haben auch bei der Berechnung der Vergrösserungs- und Verkleinerungszahl die Genauigkeit so weit getrieben, diese Differenz selbst bei den schwachen Gläsern zu berücksichtigen. Allein ist sie bei schwachen Gläsern berücksichtigungswerth? Die optische Differenz zwischen $\frac{1}{60}$ und $\frac{1}{60\frac{1}{2}}$ ist $\frac{1}{7260}$ und aus Tabelle II und III ist auch zu ersehen, dass die Axenlänge des Auges, wenn wir sie auf 2 Decimalstellen genau berechnen, für Myopie $\frac{1}{60}$ und $\frac{1}{60\frac{1}{2}}$ die gleiche ist. Selbst bei der durch $-\frac{1}{10}$, $^1/_2$" vor *k*, corrigirten Myopie $\frac{1}{10\frac{1}{2}}$ ist die Differenz zwischen $\frac{1}{f}$ und $\frac{1}{M}$ nur $\frac{1}{210}$. Wir sahen, dass eine $M\frac{1}{120}$ noch keinen bemerkbaren Unterschied gegen die Emmetropie setzt. Wir wollen also die Differenz zwischen Glaswerth und dem Werth der Myopie erst dann in Betracht ziehen, wenn diese Differenz mindestens $\frac{1}{120}$ beträgt. Das schwächste Glas nun, welches $^1/_2$" vor *k* gesetzt, einen solchen Unterschied aufdeckt, ist Concav $7^1/_2$. Es wird hierbei $M^1/_8$ corrigirt und $\frac{1}{7\frac{1}{2}} - \frac{1}{8}$ ist gerade $\frac{1}{120}$. Die Regel, welcher wir bei der Bestimmung der Myopie huldigen, ist demnach die, dass wir die Probegläser stets $^1/_2$" vor den Knotenpunkt des Auges stellen, dass wir den Werth der Myopie dem des Glases gleichsetzen, solange das corrigirende Glas schwächer als $-\frac{1}{7\frac{1}{2}}$ ist, dass wir aber die Differenz nicht vernachlässigen, sobald das Correctionsglas eine Zerstreuungsweite von $7^1/_2$" oder eine geringere hat. Sagen wir also, es besteht $M\frac{1}{15}$, so wissen wir damit, dass die Correctur durch $-\frac{1}{15}$ vollführt wurde; erklären wir eine Myopie für $M\frac{1}{6\frac{1}{2}}$, so war $-\frac{1}{6}$ das corrigirende Glas, bei $M\frac{1}{4} : -\frac{1}{3\frac{1}{2}}$.

Digitized by Google

Ich halte diesen Vorgang, eine bestimmte und begründete Grenze zwischen Beachtung und Vernachlässigung des Werthes von *d* aufzurichten, für zweckmässig und man wird mir nicht ernstlich als Fehler entgegenhalten wollen, dass hiebei sowohl die durch Concav 8 als auch die durch Concav $7^1/_2$ corrigirte Myopie als $M^1/_8$ bezeichnet wird. Der Scrupulöse möge sich damit beruhigen, dass das Glas $\frac{1}{7\frac{1}{2}}$ sehr selten im Gebrauche ist, und soll durchaus der Unterschied kenntlich werden, so wird er ausgedrückt, indem man das eine Mal $M^1/_8$, das andere Mal $M\frac{1}{7\frac{1}{2}+\frac{1}{2}}$ schreibt. Die optische Differenz zwischen der durch Concav 8 factisch corrigirten $M\frac{1}{8\frac{1}{2}}$ und der $M\frac{1}{8}$ beträgt $\frac{1}{136}$.

Bei der Bestimmung der Myopie auf genannte Weise ist noch Folgendes zu bemerken. Gesetzt, es würde die Sehschärfe eines myopischen Auges durch $-\frac{1}{9}$ auf $\frac{20}{20}$ gebracht. Das Auge fährt aber fort durch Concav 8, 7, 6 und auch noch durch stärkere Gläser die Buchstaben XX richtig zu nennen. Es ist dies leicht begreiflich, indem das Auge das Plus der Gläserstärke durch Accommodation deckt. So ist z. B. $-\frac{1}{6} = -\left(\frac{1}{9}+\frac{1}{18}\right)$. Der erstere Theil: $-\,^1/_9$ wird benöthigt zur Neutralisirung der Myopie, der letztere: $-\,^1/_{18}$ wird dadurch unschädlich gemacht, dass das Auge sich eine Linse $^1/_{18}$ durch Accommodation zulegt.

Besässe das Auge keine Accommodation oder wäre der Accommodationsmuskel durch Atropin gelähmt, dann könnte das Auge durch Gläser, die stärker als $^1/_9$ sind, nicht fortfahren deutlich zu sehen. Schon bei Anwendung von $-\,^1/_8$ würde es eine Linse $^1/_8 - ^1/_9 = \frac{1}{72}$ weniger als das emmetropische Auge haben, also H $\frac{1}{72}$, die nicht gedeckt werden kann, darbieten, mithin undeutlichere Wahrnehmungen haben.

Aus dem Gesagten folgt, dass wenn man bei einem im Besitze der Accommodation stehenden myopischen Auge den Grad der Kurzsichtigkeit bestimmen will, das schwächste Concavglas massgebend ist, mit dessen Hilfe die relativ grösste Sehschärfe erzielt wird. Hat also ein Auge durch Concav 6 Sehschärfe $\frac{20}{50}$, durch Concav $5^1/_2$ S $\frac{20}{40}$

Digitized by Google

und wird diese Sehschärfe bei Anwendung stärkerer Gläser nicht mehr gesteigert, dann besteht $M\frac{1}{6}$ und die factische Sehschärfe beträgt mit Berücksichtigung der Vergrösserungszahl 1·091, $\frac{21{\cdot}82}{40}$.

Im Hinblick auf die letzterwähnten Verhältnisse ist es von Vortheil, zur Auffindung des corrigirenden Concavglases in der Art vorzugehen, dass man mit zu schwachen Gläsern die Untersuchung beginnt und von diesen zu immer stärkeren übergeht. Man darf aber nicht glauben, dass Concavgläser jeder Art die Sehschärfe bei Myopie verbessern. Schon aus dem obenangeführten Beispiele (mit $M^1/_5$) ist ersichtlich, dass bei einem gewissen Höhengrade der Myopie die Gläser eine bestimmte Stärke haben müssen, um einen merkbaren Einfluss auszuüben. Hätten wir keine anderen Anhaltspunkte, um uns von vorhinein beiläufig eine Vorstellung über das Mass der Anomalie zu verschaffen, so würde uns die Herabsetzung der Sehschärfe an und für sich in der früher angedeuteten Weise Aufschluss geben, welchen Grad von Myopie wir beiläufig zu erwarten haben. Es wäre daher unvernünftig, wenn in Folge der Kurzsichtigkeit *S* z. B. unter $\frac{20}{200}$ gesunken wäre, die Proben mit Gläsern, wie Concav 60, 30, 20 zu beginnen; man kann da gleich herzhaft zu Concav 10 mit dem Bewusstsein, dass auch dieses Glas noch zu schwach ist, greifen und von diesem Glase zu solchen von kürzerer Zerstreuungsweite übergehen.

Das umgekehrte Manoeuvre ist verwerflich. Corrigiren wir z. B. $M\frac{1}{15}$ durch $-\frac{1}{8}$, so werden die Buchstaben noch erkannt und sie bleiben, indem sie gleichzeitig grösser zu werden scheinen, deutlich, wenn man hierauf schwächere Gläser vorsetzt. Allein dadurch, dass der zu Prüfende einmal in die Kenntniss der betreffenden Zeichen gelangt ist, vermag er dieselben, wenn die vorgehaltenen Gläser de facto schon zu schwach sind, also ein möglichst deutliches Netzhautbild nicht mehr zu Stande kommt, doch noch zu nennen. Wir haben ja bei einer anderen Gelegenheit schon gehört, welch' einen complicirten Act das Erkennen von Buchstaben darstellt und auch bei schon richtig gelösten Punktproben spielt das Errathen eine nicht ganz untergeordnete Rolle. Darum beginne man mit zu schwachen Gläsern.

Ist das Glas auf die genannte Weise richtig bestimmt, dann muss es die Probe bestehen, dass, wenn man vor dasselbe abwechselnd

Digitized by Google

Concav und Convex 80 stellt, in ersterem Falle die Sehschärfe nicht steigt, in letzterem aber das Sehen etwas undeutlicher wird. Bei den hierher gehörigen Proben darf im Allgemeinen die Angabe des Untersuchten, dass er „besser oder schlechter sehe," nicht allein massgebend sein, er muss vielmehr durch das Nennen der Buchstaben, Zeichen, Punktgruppen seine Kenntniss oder Unkenntniss, den guten Willen und die nöthige Intelligenz vorausgesetzt, erweisen. Bei der letzten (Fein-) Probe muss allerdings die Angabe, dass die Buchstaben noch erkannt, aber mehr oder weniger deutlich, als früher, gesehen werden, den Ausschlag geben.

Die Formel $M = \frac{1}{f + d}$ lehrt uns, dass ein Concavglas um so schwächer wirkt, je weiter es vom Auge absteht. Ist $-\frac{1}{f} = -\frac{1}{6}$, dann corrigirt es, je nachdem $d = {}^1/_2{}''$, $= 1''$, $= 2''$ M $\frac{1}{6\frac{1}{2}}$, $\frac{1}{7}$, $\frac{1}{8}$. Man könnte also meinen, dass das gewählte Glas dadurch zu überprüfen sei, dass man es dem Auge nähert oder von demselben entfernt. Würde im ersteren Fall das Sehen verbessert, dann wäre das Glas zu schwach; geschieht dies hingegen bei letzterem Versuche, dann ist es zu stark. Von dieser Probe kann überhaupt nur bei starken Gläsern die Sprache sein, indem bei schwachen die erlaubte Verschiebung des Glases keine merkbare Refractionsdifferenz bewirkt (siehe pag. 110), aber auch bei starken Gläsern, die durch kleine Verschiebungen vor dem Auge eine erhebliche Aenderung ihrer Wirkung erfahren, ist die erstgenannte Ueberprüfungsart (jedoch mit stärkeren Gläsern, Concav 60 oder 40) vorzuziehen, weil eine Annäherung des Glases, das ohnehin nur ${}^1/_4{}''$ vor die Hornhaut gehalten wird, mit der Unannehmlichkeit einhergeht, dass es mit den Cilien in Berührung kommt und andererseits die durch die Heranrückung stattfindende Vergrösserung des Bildes dem Myopen eine Annehmlichkeit bereitet, die ihm nur schwer gestattet, das Glas als zu stark anzuerkennen; durch das Abrücken des Glases jedoch, falls es jetzt auch besser dem Grade der Kurzsichtigkeit entspräche, mit der dabei stattfindenden Vergrösserung des Gesichtswinkels gleichzeitig eine stetige Abnahme der Bildgrösse einhergeht, die das Deutlicherwerden des Bildes nicht erkennen lässt.

Die Prüfung, deren Princip soeben detaillirt wurde, wird, abgesehen von den Cautelen, welche die Rücksicht auf die Sehschärfe er-

Digitized by Google

heischt (s. pag. 147), so vorgenommen, dass ein Auge nach dem anderen untersucht, das unbeschäftigte dabei durch ein Augenläppchen verhängt wird; dass der Untersucher das betreffende Glas mit Daumen und Zeigefinger am Rande fasst und die übrigen Finger auf die Stirne des Untersuchten aufstützt; dasselbe $^1/_4$" vor die Hornhaut so stellt, dass die Linsenaxe mit der Gesichtslinie zusammenfällt, darauf achtet, dass es nicht trübe ist, und sich gegenwärtig hält, dass die Gläser bei der Prüfung leicht trüb werden (anlaufen) können; und endlich bei der Entscheidung zwischen zwei Gläsern dieselben rasch hintereinander vor das Auge bringt, damit sich die Differenzen möglichst leicht aufdrängen. Wurde das passendste Glas gefunden, so wird dasselbe in ein Brillengestell gefügt und nun die Controle durch das Vorhalten eines schwachen Concav- und Convexglases geübt. Das zur Einfügung von Probegläsern best geeignete Brillengestell ist das v. Jaeger'sche. Zwei Halbringe, deren gegenseitiger Abstand geändert werden kann, sind für die Aufnahme der in dieselben leicht einzusetzenden und wieder zu entfernenden Gläser bestimmt. Richtet man das Gestell gleichzeitig so ein, dass die Halbringe nach vorne umgeklappt werden können, so kann man auch leicht die Gläser im Brillengestell wechseln, ohne es jedesmal gänzlich abnehmen zu müssen.

Wir haben so eben gewisse allgemeine Regeln für die Gläserwahl mitgetheilt, ohne noch über die Verwendung der Convexgläser, über die Correction der Hypermetropie gesprochen zu haben. Darum beeilen wir uns, das Betreffende nachzutragen. Gesetzt, es fehlte einem Auge eine Linse $^1/_{10}$. Dann besteht $H^1/_{10}$ und wir würden dieselbe corrigiren, falls wir Convex 10 in den Knotenpunkt des Auges setzen könnten. Da dies aber nicht angeht, so wird je nach dem Abstande, den das Glascentrum vom Knotenpunkte einnimmt, ein von $^1/_{10}$ verschiedenes, immer aber schwächeres Convexglas zur Neutralisirung nothwendig sein. Ist $\frac{1}{f}$ der Werth des Correctionsglases, und d der Abstand des Glascentrums vom Knotenpunkte, dann besteht die Gleichung: $H = \frac{1}{f-d}$. Ist $d = 1$", so ist zur Correction von $H^1/_{10}$ Convex 11 nöthig, wird in einem andern Falle Convex $3^1/_2$, $^1/_2$ vor k in Anspruch genommen, so ist $H \frac{1}{3^1/_2 - ^1/_2} = ^1/_3$ vorhanden. Wenn wir einen Blick auf die frühere Figur 33 werfen, so wird uns die Ursache hievon klar werden. Damit parallele Strahlen auf der Netzhaut des mit $H \frac{1}{12}$ behafteten

Digitized by Google

Auges zur Vereinigung kommen, müssen sie nach einem 12" hinter dem optischen Centrum o^1 *(k)* des Auges liegenden Punkte convergiren. Steht nun das Centrum o des Correctionsglases 1" von o^1 ab, so muss das Glas eine Brennweite von 13" haben, da die parallelen Strahlen sich dann 13" hinter o und, da $o\,o^1 = d = 1$", 12" hinter o^1 sammeln würden, falls das dioptrische System des Auges unwirksam wäre. In Betreff der Differenz zwischen dem Werthe des Convexglases und der Hypermetropie folgen wir demselben Principe, wie bei den Concavgläsern. Die Correction ist immer dadurch erfolgt anzusehen, dass das Glas $^1/_2$" vor k gesetzt ward. Wir vernachlässigen die Refractionsdifferenz, solange dieselbe kleiner als $^1/_{120}$ ist. Schreiben wir also $H^1/_9$, so wissen wir, es wurde dies Auge durch Convex 9, $^1/_2$" vor k, corrigirt; heisst es dagegen $H\,\frac{1}{7^1/_2}$, so sagen wir damit, dass Convex 8 die Correction vollführte. Die Differenz wird hierbei zuerst $^1/_{120}$ gleich.

Wenn ein Auge z. B. durch Convex 9 corrigirt wird, so kann es, falls wir das Spiel des Accommodationsmuskels ganz ausser Acht lassen, durch ein schwächeres Glas nicht seine grösste Sehschärfe erreichen, andererseits kann aber jenes Glas, welches die relativ grösste Sehschärfe bringt, niemals zu stark sein. Eine Uebercorrection, wie bei Myopie durch zu starke Concavgläser, kann bei Hypermetropie nicht stattfinden, weil das Auge keine negative Accommodation besitzt, seine Refractionsgrösse also durch Aenderung der Formgestalt der Linse zu verringern nicht im Stande ist. Den Grad der Hypermetropie wird also immer das stärkste Convexglas bestimmen, durch welches das Auge noch die relativ grösste Sehschärfe aufweist. Gesetzt, es werde die Sehschärfe eines Auges durch Convex 30 von $\frac{20}{50}$ auf $\frac{20}{40}$, durch Convex 14 weiter auf $\frac{20}{30}$ gehoben, und erhielte sich — wir werden sehen, wieso dies möglich ist — auf dieser Höhe, wenn man der Reihe nach Convex 13, 12, 11, 10 versucht, nähme aber ab, falls Convex 9 in Anwendung gezogen wird, dann ist Convex 10 das den Ausschlag gebende Glas. Es besteht $H\frac{1}{10}$, die wir noch dadurch, dass wir vor Convex 10 abwechselnd Convex und Concav 80 setzen, controliren. Die Controle kann bei starken Gläsern auch durch Verschiebung derselben vor dem Auge versucht werden, wobei zu bemerken ist, dass, wie die Formel $H = \frac{1}{f + d}$ ergibt, das vorrückende

Digitized by Google

Glas stärker, das sich nähernde schwächer wirkt. Nur muss hierbei bedacht werden, dass das vorrückende Glas gleichzeitig mehr, das anrückende weniger vergrössernd wirkt, die Undeutlichkeit, die sich in ersterem Falle durch das Zustarkwerden des Glases etwa einstellt, durch das Grösserwerden des Bildes bis zu einem gewissen Grade unkenntlich gemacht wird, wogegen das in Folge der Annäherung des Glases etwaige Deutlicherwerden des Bildes wegen der gleichzeitig erfolgenden Verkleinerung desselben nicht so leicht zum Bewusstsein kommt. Darum ist es auch hier zur Controle besser, das Glas $^1/_4$″ vor dem Auge stehen zu lassen und durch Vorsetzen von Convex und Concav 60 (oder stärkerer Gläser) die Gegenprobe zu machen.

So wird nun, indem man ein Auge nach dem anderen der Untersuchung unterzieht, der Grad der Myopie oder Hypermetropie bestimmt — so gut als dies eben mit Hilfe von Gläsern — möglich ist. Um die durch das beständige Wechseln der Gläser vor dem Auge ziemlich umständliche und selbst bei gehöriger Intelligenz der zu Prüfenden langwierige Methode abzukürzen, wurden in neuerer Zeit einige neue Optometer (oder Refractionsmesser) construirt, von denen aber keines auf einem neuen Princip beruht.

Der Refractionsmesser von v. Gräfe (1863) ist nichts Anderes, als ein Galilaei'sches Fernrohr und zwar stellt der monoculäre den sogenannten Feldstecher, der binoculäre das gewöhnliche Theaterperspective dar. Stelle ich vor mein Auge Concav 6, und unmittelbar vor dieses Glas Convex 6, dann ist die Combination unwirksam. Die von einem entfernten Leuchtpunkte kommenden parallelen Strahlen convergiren nach dem Brennpunkte der Convexlinse, also nach einem 6″ hinter ihr, mithin, wenn wir die Linsendicke vernachlässigen, im Focus der Concavlinse 6 gelegenen Punkte, werden daher durch die Concavlinse parallel gemacht, und treten demnach parallel aus, sowie sie aufgefallen.

Rücke ich jetzt das Convexglas um 1″ vom Concavglase ab, dann würden die parallelen Strahlen sich nicht mehr 6″, sondern 5″ hinter der Concavlinse einigen, die Combination wirkt jetzt so, als ob ich auf Concav 6 Convex 5 gelegt hätte, sie wirkt demnach als Convexglas, und zwar als ein solches von 30″ B. W., da $^1/_5 - {}^1/_6 = {}^1/_{30}$. Entferne ich das Convexglas nicht um Einen, sondern um zwei Zoll, dann ist die Combination gleich $\frac{1}{4} - \frac{1}{6} = \frac{1}{12}$. Bei einem Abstande der Linsen von 3″ von einander, wirkt das System, wie $\frac{1}{3} - \frac{1}{6}$ also wie $\frac{1}{6}$; bei 4″

Digitized by Google

Distanz wie $\frac{1}{2} - \frac{1}{6} = \frac{1}{3}$; bei $4^1/_2$" Entfernung wie $\frac{1}{1\frac{1}{2}} - \frac{1}{6} = \frac{1}{2}$. Indem ich also Convex 6 allmälig von Concav 6 entferne, stelle ich mir so die ganze Reihe der Convexgläser her, und zwar genügt die Abrückung um $4^1/_2$", um die ganze Gläserreihe von $\frac{1}{\infty}$ bis $\frac{1}{2}$ zu durchlaufen. Ist Concav 6 als Ocular an dem, dem Auge zugekehrten Ende einer Röhre unbeweglich und Convex 6 (als Objectiv) in einer in der erstern verschiebbaren Röhre beweglich angebracht, dann wird, wenn die Röhren ganz in einander geschoben sind, die Combination einem Planglase entsprechen, sofort aber, sowie die innere Röhre ausgezogen wird, als Convexglas wirken. Auf einer an diesem letztern Rohre angebrachten Scala ist direct der Werth des Convexglases abzulesen, welcher einem bestimmten Abstande der Gläser entspricht.

Lasse ich das Objectiv (Convex 6) unverändert, und nehme als Ocular Concav 2 statt Concav 6, dann wird, wenn die Röhren zusammengeschoben sind, also kein Abstand zwischen Concav 2 und Convex 6 besteht, das System wirken als $-\frac{1}{2} + \frac{1}{6} = -\frac{1}{3}$, also wie Concav 3. Lasse ich einen Abstand von 1" eintreten, dann wirkt ein Glas von der Stärke: $-\frac{1}{2} + \frac{1}{5} = -\frac{1}{3\frac{1}{3}}$. Ist d, die Entfernung des Oculars vom Objectiv, $= 2$", dann ist $-f$, die Brennweite der Combination, $= -4$". Ist $d = 3$", so ergibt sich für $-f$ der Werth von -6", für $d = 3^1/_2$, ist $-f = -10$, für $d = 4$", ist $-\frac{1}{f} = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 0$. Indem ich also Concav 2 als Ocular verwende, kann ich mir mit Hilfe desselben Objectivglases die Reihe der Concavgläser von $-\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{\infty}$ herstellen. Je mehr ich in diesem Falle die innere Röhre ausziehe, ein desto schwächeres Concavglas erhalte ich, während die Stärke der Convexgläser begreiflicherweise mit dem Ausziehen der Röhren zunimmt, falls Concav 6 als Ocular verwendet wird.

Das monoculäre Instrument von v. Gräfe hat drei Oculare, eines für die hypermetropische, ein zweites für die schwach myopische und ein drittes für die stark myopische Scala, wenn es erlaubt ist, den 3 Scalen der Kürze halber diese Bezeichnungsweise beizulegen. Es ist klar, dass die negative Brennweite der 3 Oculare in der Reihe, in

Digitized by Google

welcher sie aufgeführt wurden, abnimmt. Mit Hilfe der Scala I wird die Hypermetropie, bis H $\frac{1}{2\frac{1}{2}}$, mit der Scala II schwache Myopie, bis $M\frac{1}{7}$, der Scala III $M\frac{1}{8} - M\frac{1}{2\frac{3}{4}}$ in der Art bestimmt, dass man das Instrument auf 20′ Entfernung von Snellen's Tafeln aufstellt, und das unbeschäftigte Auge verhängt. Die Schraube, welche das Objectivrohr aus- und einschiebt, wird vom Untersucher oder auch vom Untersuchten so lange hin und her gedreht, bis das stärkste Convexglas, resp. das schwächste Concavglas, mit welchem die grösste Sehschärfe erreicht wird, eruirt ist. Der binoculäre Refractionsmesser hat die Form eines gewöhnlichen (etwas ungestalteten) Theaterperspectivs, welches der jeweiligen Augenweite angepasst werden kann, und mit zwei leicht einstellbaren Ocularen (für *H* und *M*) versehen ist. Das Instrument wird von dem zu Untersuchenden, der 20′ von den Sehproben entfernt ist, mit freier Hand, wie ein Operngucker, gehandhabt.

Burow's Optometer (1863) besteht gleichfalls aus zwei in einander verschiebbaren Röhren, deren äussere an dem dem Auge zuzukehrenden Ende eine (achromatische) Convexlinse von 4″ B. W., deren innere das Probeobject, Schriftzeichen verschiedener Grösse, durch ein mattes Glas beleuchtet, enthält. Je nach der Refraction des untersuchten Auges wird die äusserste Entfernung, in welcher das Probeobject noch deutlich erkannt wird, verschieden sein. Die innere Röhre wird so weit ausgezogen, bis die Grenze der Deutlichkeit des Objectes erreicht ist. Die an der genannten Röhre angebrachte Scala nennt den entsprechenden Refractionszustand des Auges. Ein emmetropisches Auge wird z. B. falls es nicht accommodirt, die Probeschrift durch Convex 4 eben noch auf 4″ erkennen, während ein Auge mit $H^1/_{12}$ durch Convex 4 bis auf 6″, ein Auge mit $M^1/_{12}$ hingegen durch dieses Glas nur bis 3″ deutlich sieht.

Das Optometer von Perrin und Mascart (1869) besteht aus einem auf einem Gestelle ruhenden cylindrischen Tubus, an dessen einem Ende eine Convexlinse, an dessen anderm Ende das Probeobject (eine auf einer geschwärzten Glasplatte angebrachte transparente feine Schrift) angebracht ist. Im Innern des Tubus ist eine Concavlinse, deren Brennweite kürzer als jene der Convexlinse, in der Art angebracht, dass sie durch die ganze Länge des Rohres vom Objecte bis zum sogenannten Ocular verschoben werden kann. Bei einer bestimmten Stellung der Concavlinse wird der nicht accommodirende Emmetrope die Probeschrift deutlich erkennen. Der an der Scala angebrachte Buchstabe *E* kennzeichnet die entsprechende Anordnung des Instrumentes. Von

Digitized by Google

dem Buchstaben *E* gegen das Object hin sind die der verschiedenen Lage des Concavglases entsprechenden positiven, Hypermetropie corrigirenden Werthe, gegen das Ocular hin die betreffenden negativen, Myopie neutralisirenden Werthe des Optometers kenntlich gemacht.

Es ist klar, dass bei einem bestimmten Abstande der beiden Gläser die Wirkung der Combination gleich 0 wird; dass die Combination als Concavglas wirkt, wenn man die Gläser von dieser Stellung aus einander nähert und zwar als um so stärkeres Concavglas, je mehr sie sich nähern; dass endlich die Wirkung eines Convexglases hervortritt, wenn die Gläser aus jener mittlern Stellung weiter von einander entfernt werden und dass mit der Zunahme des Abstandes auch die positive Wirkung wächst.

Die Werthe für Emmetropie und die verschiedenen Grade von Ametropie sind in dem Instrumente experimentell bestimmt.

Die Schwierigkeiten, welche die Bestimmung des Fernpunktes mit Hilfe der durch Gläser deutlich zu machenden Leseproben in sich schliesst, werden wir in der Speciallehre über Myopie und Hypermetropie kennen lernen, dortselbst auch eine Kritik der eben beschriebenen Optometer und der nachfolgenden Methoden der Fernpunktsbestimmungen besser üben können, als an dieser Stelle. Zunächst werde noch eine Methode aufgeführt, die auf einem alten, zu optometrischen Zwecken häufig verwendeten Principe beruhend neuerdings für klinische Untersuchungen der Ametropie verwerthet wurde. Thomson hat (1870) den bekannten Scheiner'schen Versuch in folgender Weise der klinischen Bestimmung des Fernpunktes dienstbar gemacht. In einem dunkeln Zimmer ist in der Höhe des Auges des zu Untersuchenden eine 9" im Durchmesser haltende Scheibe von Kartenpapier angebracht, welche an einer Stelle ein Loch, $^3/_8$" im Diameter und durch ein durchscheinendes weisses Papier gedeckt, enthält. Hinter der Scheibe steht eine Gasflamme, so dass ein scharf begrenzter Leuchtkreis, welcher auf den Abstand von 20 Fuss unter einem Winkel von 5 Minuten sich darstellt, das Probeobject abgibt. Das in der Entfernung von 20 Fuss stehende zu prüfende Individuum hält vor Ein Auge, während das zweite gedeckt wird, eine kleine runde Scheibe von steifem Papier, in deren Mitte zwei $^1/_2$ Millimeter im Durchmesser haltende, 4 Millimeter von einander abstehende Perforationsstellen befindlich sind und an deren Rückseite ein kleines Stückchen roth gefärbten Glases, welches vor eines der Löcher geschoben werden kann, angebracht ist. Blickt das zu prüfende Auge in der Art durch das Scheibchen nach dem entfernten Leuchtkreise, dass beide Löcher des ersteren, etwa in einer horizontalen Linie liegend, sich im Bereiche der Pupille befinden, dann wird nur

Digitized by Google

in dem Falle, als von dem entfernten Lichtpunkte ein deutliches Bild auf der Netzhaut entworfen wird, dieser Lichtpunkt einfach gesehen, erscheint aber im doppelten Bilde, falls die vom Leuchtobjecte kommenden die 2 Löcher des Schirmchens passirenden Strahlenkegel sich nicht auf der Netzhaut vereinigen. Liegt die Netzhaut vor dem Vereinigunspunkte der Strahlenkegel, besteht also Hypermetropie, dann trifft der Kegel, der durch das rechte Loch des Scheibchens ging, die Netzhaut auf der rechten Seite von dem durch das linke Loch getretenen links liegenden Strahlenkegel und es wird demnach das dem rechten Kegel angehörige Bild nach links, das des linken nach rechts projicirt. Wird also in diesem Falle das rothe Glas vor das rechte Loch geschoben, so sieht das Auge statt des Einen fernen Leuchtkreises zwei, einen weissen und einen rothgefärbten und zwar steht der rothgefärbte links, der weisse rechts.

Liegt die Netzhaut hinter dem Sammelpunkte der von einem entfernten Objecte kommenden Strahlen, besteht also Myopie, dann vereinigen sich unsere beiden Strahlenkegel in einem Punkte vor der Netzhaut, durchkreuzen sich und treffen die Netzhaut so, dass der durch das rechte Loch eingedrungene Kegel nach links, der durch das linke Loch getretene nach rechts fällt. Es wird demnach in diesem Falle das Bild des rechten Kegels nach rechts, das des linken nach links projicirt, es erscheint, wenn am Versuche Nichts geändert wurde, ein rechts stehender roth gefärbter, ein links stehender weisser Leuchtkreis.

Auf die genannte Weise kann man Emmetropie von Ametropie und bei letzterer Hypermetropie von Myopie unterscheiden. Um den Grad der Ametropie zu bestimmen. suche man dasjenige Convex-, resp. Concavglas, mit dessen Hilfe das Auge nicht mehr zwei, sondern einen einzigen fernen Leuchtpunkt sieht. Thomson wollte sich bei der Bestimmung des Grades der Ametropie der Anwendung von Gläsern ganz entschlagen. Es ist einleuchtend, dass je weiter die Netzhaut vor oder hinter dem Kreuzungspunkte der Strahlenkegel steht, desto weiter entfernt die auf ihr sich bildenden Leuchtkreise, desto weiter entfernt daher auch die Doppelbilder von einander liegen. Können wir den Abstand der 20 Fuss vom Auge entfernten Doppelbilder von einander messen und sind uns die optischen Constanten des Auges bekannt, dann lässt sich aus diesen Werthen die Abweichung der Netzhaut von ihrer normalen Lage und daraus der Grad der Ametropie berechnen. Dies that Thomson, indem er den gegenseitigen Abstand der Doppelbilder direct mass und die Werthe von Listing's schematischem

Digitized by Google

Auge zu Grunde legte. Man sieht aber leicht ein, dass falls nicht die Umstände es unumgänglich erfordern, für individuelle Bestimmungen schematische Werthe nicht verwendet werden sollen und dass daher, will man den Scheiner'schen Versuch in der eben beschriebenen Weise zur möglichst genauen Bestimmung des Fernpunkts in Anwendung ziehen, dies ohne Gebrauch der Gläser nicht angeht.

Es sei erwähnt, dass auch v. Graefe seinen Refractionsmesser so einrichtete, dass mit demselben Fernpunktbestimmungen auf Grund des Scheiner'schen Versuches ausgeführt werden konnten. Mit dem Ocular wurde hiezu eine von zahlreichen Spalten durchbrochene Platte in Verbindung gebracht und durch dieselbe mit Hilfe des Instrumentes nach einem 20 — 30′ entfernten Striche oder Lichtpunkte visirt. Es erschien dann der Strich, resp. der Lichtpunkt dem ametropischen Auge vervielfältigt und das Instrument hatte seine Aufgabe gelöst, sobald bei einer bestimmten Stellung der in einander verschiebbaren Röhren die Polyopie verschwunden war.

Sollen wir noch unter den subjectiven Bestimmungsweisen des Fernpunkts derjenigen erwähnen, bei welcher derselbe an einem nahe gelegenen Objecte möglichst ohne Zuhilfenahme von Gläsern geprüft wird? Man sieht ein, dass wenn z. B. $M^1/_6$ besteht, von dem betreffenden Auge ein feines Object, dessen Erkennen durch Zerstreuungskreise im myopischen Auge vereitelt würde, auf keinen grössern Abstand als auf den von 6″ (ungefähr) deutlich gesehen werden kann. Daraus folgt, dass man auf diese Weise wenigstens Eine Art der Ametropie, die Myopie nämlich, am raschesten und einfachsten dem Wesen und dem Grade nach bestimmen könnte, aber leider nur unter der Voraussetzung, dass man bereits wüsste, dass wirklich Myopie und gleichzeitig normale Sehschärfe besteht. Denn es sei an dieser Stelle, an welcher wir nur einen allgemeinen Ueberblick über die verschiedenen Methoden geben wollen, blos erwähnt, dass falls ein Auge z. B. allerfeinste Druckschrift auf keinen grösseren Abstand, als den von 6 Zollen zu lesen im Stande ist, dies allerdings möglicher Weise $M^1/_6$ anzeigt, dass aber auch Emmetropie mit herabgesetzter Sehschärfe, oder eine Myopie geringeren Grades, z. B. $M^1/_{24}$, gleichfalls verbunden mit verminderter Sehschärfe, oder aber auch sehr hochgradige Hypermetropie die Ursache dieser Erscheinung sein kann. Um die Differentialdiagnose zu machen, dazu fehlen uns aber vorläufig noch die nöthigen Kenntnisse, daher legen wir die genannte Prüfungsart vorläufig ad acta.

Es erübrigt uns noch, über die objective Methode zur Bestimmung des Fernpunktes, über den Augenspiegel als Refractions-

Digitized by Google

messer zu handeln. Ich habe den betreffenden Gegenstand an anderen, früher citirten Orten ausführlich erörtert und will hier nur erwähnen, dass ich von den dortselbst niedergelegten Ansichten über den Werth dieser Bestimmungsmethode ebensowenig Etwas zurücknehme, als ich eine von der meinigen abweichende Art der Berechnung der Vergrösserung des ophthalmoscopischen Bildes brauchbar finden kann. Bemerken will ich, dass in den dort gegebenen Berechnungen an einigen Stellen, trotz der Einführung der von Helmholtz modificirten Listing'schen Werthe für das schematische Auge, der ursprüngliche Listing'sche Werth für den Abstand des zweiten Knotenpunktes von der Netzhaut genommen wurde. Denjenigen, welchen diese theoretische Unrichtigkeit — denn auf die Rechnungen nimmt die Differenz der beiden Werthe (gleich 0·066 P. L.) keinen Einfluss — etwa aufgefallen wäre, dürfte auch die Ursache derselben nicht entgangen sein. Es ist eine Concession an Helmholtz selbst, der gleichfalls bei der Berechnung der Vergrösserung des ophthalmoscopischen Bildes den Listing'schen Werth einsetzte.

Von den Einwürfen, welche gegen die Genauigkeit der ophthalmoscopischen Methode neuerlich erhoben wurden, will ich, da ich die Angelegenheit der Accommodation des untersuchenden und untersuchten Auges durch mein erstes Exposé für erledigt halte und wir auf diesen Punkt in der Speciallehre noch zurückkommen müssen, nur den folgenden aufführen, der allerdings auch für den mit der Sache Vertrauten keiner Widerlegung bedarf. Woinow sagt nämlich in seinen „Bemerkungen über die Untersuchung der Refraction mittelst des Augenspiegels“ [1]): „Die Macula lutea kann uns nicht als leitendes Object dienen. Anders verhält es sich mit der Sehnervenscheibe und den Gefässen. Diese sind deutlich sichtbar und wir könnten vielleicht mit grosser Bestimmtheit das der Refraction des Auges entsprechende Glas finden; wird dieses aber das richtige sein, welches der Untersuchte zum Sehen verwenden kann? Die Antwort auf diese Frage wird verneinend ausfallen müssen. Wir müssen, um die Sehnervenscheibe zu sehen, das Auge nach innen wenden lassen, blicken also durch eine nach aussen von der Gesichtslinie gelegene Hornhautpartie, die wie bekannt einen grösseren Krümmungsradius besitzt als dieses in der Gesichtslinie der Fall ist, wir haben es also mit anderen optischen Constanten zu thun, als in der dioptrischen Axe des Auges und werden eben nur die Refraction einer Stelle des Auges gefunden haben, mit welcher der Untersuchte nichts sieht, die Refraction im blinden Flecke“. Woinow hat

[1]) Centralblatt für die med. Wissenschaften 1869. Nr. 56.

Digitized by Google

hierbei auf Einen Umstand vergessen, nämlich auf den, dass das Auge eine — Linse besitzt, deren Bau „bei der Aenderung der optischen Constanten" auch ein Wort mitzusprechen hat. Derjenige, dem dies bisher noch entgangen ist, lese z. B. folgende Stelle in Donders: Anomalien der Refraction und Accommodation, pag. 270 der deutschen Uebersetzung (pag. 324 des Orginals): „Es ist bekannt, dass die ganze Krümmung der Netzhaut im emmetropischen Auge in der Brennfläche des dioptrischen Systems liegt; mit dem Augenspiegel sieht man bei **unveränderter** Accommodation die verschiedenen Theile der Netzhaut im aufrechten Bilde **scharf** und im weissen aus dem Kopfe entfernten Kaninchenauge schimmern scharfe Bilder von entfernten Gegenständen durch die ganze Sclerotica hin, so weit nämlich Netzhaut an ihrer inneren Fläche gelegen ist. Thomas Young hat die Vereinigung der Strahlen auf der Netzhautfläche mit dem schichtenartigen Baue der Linse in Verbindung gebracht. Und es ist gewiss, dass dieser nicht ohne Einfluss darauf ist." Folgt der Beweis für die letztere Annahme.

Den Einwurf Woinow's hat also schon Thomas Young vor 70 Jahren widerlegt. Nein, die Constanten des Auges werden, falls wir durch eine äussere Partie der Hornhaut hindurchblicken, nicht in der Art, wie Woinow meint, geändert, sie werden vielmehr dabei, solange das Auge in seinem hintern Abschnitte nicht ganz besonders abnorm gebaut ist und so lange es eine Linse besitzt, in der Art modificirt, dass die Refraction an der Stelle des gelben und des blinden Flecks dieselbe bleibt.

Nur bei hochgradiger Myopie, hochgradiger Hypermetropie oder Aphakie (Linsenlosigkeit) könnte eine Differenz in der Refraction des gelben und blinden Flecks auftreten, allein der Fehler, der hierbei, falls wir die Eintrittstelle des Sehnerven als Object nehmen, bei der Augenspiegeluntersuchung entsteht, kann schwer grösser werden, als jener ist, der bei der Gläserprobe, schon vorausgesetzt dass diese zur Erkenntniss der wirklich bestehenden Ametropie führt, sich ergibt. Gebe ich in einem Falle z. B. Concav $2^1/_2$ als das corrigirende Glas an, so muss ich, um den Werth der Myopie zu kennen, gleichzeitig auf Linien genau zu sagen wissen, wie weit das optische Centrum des Glases vor dem Knotenpunkte des Auges steht. Steht das Glas-Centrum z. B. genau 6‴ vor dem 1. Knotenpunkte, dann besteht $M^1/_2$; stünde es aber 9‴ davor, dann würde es sich um $M\ 1^3/_4$ handeln. Nun ist die Differenz zwischen $\frac{1}{1^3/_4}$ und $\frac{1}{2} = \frac{1}{14}$, also sicherlich grösser als die Re-

Digitized by Google

fractionsdifferenz zwischen gelbem und blinden Fleck. Aber auch bei Aphakie sind wir gar nicht in der Lage den theoretisch bestehenden Unterschied zwischen der Brechkraft des Auges in der Richtung des gelben und blinden Fleckes durch die gebräuchlichen Staargläser auszudrücken. Ein Staarglas, je nachdem es Eine Linie näher oder weiter von der Hornhaut steht, erzeugt dadurch eine weit grössere Differenz, als der Werth der in Rede stehenden Differenz beträgt. Noch geringer, wann überhaupt existirend, ist der Unterschied im hochgradig hypermetropischen Auge, das eine Linse besitzt.

Nur bei hochgradiger Myopie und stark ovoider Form des Bulbus tritt überhaupt de facto ein erwähnenswerther Unterschied in der Brechkraft nach der Richtung des gelben und blinden Flecks auf. — dafür aber hat Derjenige, den der Scrupel, er könnte an der Papille des Sehnerven die Refraction nicht genau genug bestimmen, beunruhigt, die Genugthuung, dass in diesen Fällen die Macula lutea häufig pathologische Veränderungen zeigt und es hierdurch möglich wird, an ihr selbst die Refractionsbestimmung vorzunehmen.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass die Refractionsbestimmung in der That im Allgemeinen an der Eintrittsstelle des Sehnerven vorzunehmen sei und zwar ist für die Refraction des gelben Fleckes jene Einstellung massgebend, bei welcher der Bindegewebsring der Papille eben im deutlichen Bilde erscheint.

Nachdem wir nunmehr, meine Herren! die verschiedenen klinisch verwerthbaren Methoden zur Bestimmung des absoluten Fernpunktes in rascher Folge Revue passiren liessen, wenden wir uns der Auffindung des absoluten Nahepunktes zu. Die Bestimmung des letztern ist schwierig und bleibt im Allgemeinen ungenau, denn wir können die dem Accommodationsmuskel innewohnende Kraft und die durch dieselbe bewirkbare Formveränderung der Linse nicht objectiv messen. Wir sind einerseits auf den guten Willen und die Intelligenz des zu Prüfenden angewiesen und andererseits sind einzelne Proben, deren wir uns zur Bestimmung des Nahepunktes bedienen, solcher Art, dass selbst bei dem besten Willen und bei dem Vorhandensein eines gehörigen Ausmasses von Intelligenz von einer wirklich genauen Ergründung des Nahepunktes im Allgemeinen kaum gesprochen werden kann. Wie geht man vor? Man bedient sich des Stäbchenoptometers, entsprechend feiner Schriftproben oder der Burchardt'schen Punktgruppen. Das

Digitized by Google

Stäbchenoptometer besteht aus einem kleinen rechteckigen mit einem Handgriff versehenen Rahmen, in welchem parallel laufende sehr feine schwarze straff gespannte Drähte angebracht sind. Der zu Prüfende nähert das Optometer so lange seinem Auge, bis die einzelnen Drähte ihre Schärfe und Schwärze zu verlieren beginnen, bis sie anfangen breiter zu werden oder sich zu verdoppeln, wobei ihre Contouren sich verwischen, ihre Farbe aus Schwarz in Grau übergeht. Der Versuch wird durch Anrücken und Entfernen des Objectes so lange fortgesetzt, bis der nächste Punkt ermittelt ist, in welchem die Drähte eben noch vollkommen scharf erscheinen und indem man nun den Abstand des Optometers von einem 3‴ hinter dem Hornhautscheitel gelegenen Punkte mit Hilfe eines Massstabes misst (wobei also das Ende des Massstabes zur Seite des Auges vor dem äusseren Augenwinkel angelegt wird), erhält man den Werth für den Abstand des Nahepunktes vom 1. Knotenpunkte des Auges, von welchem aus ja auch die Lage des Fernpunktes gemessen wird. In ähnlicher Weise, wie mit dem Stäbchenoptometer, verfährt man mit kleinem Druck oder den feinen Punktproben Burchardt's. Es wird die grösste Nähe gesucht, in welcher feiner Druck noch fliessend gelesen oder entsprechend feine Punktproben richtig gelöst werden.

Aus dem Gesagten erhellt, dass wir bei der Bestimmung des Nahepunkts annehmen, dass der Nahepunkt wirklich nahe d. h. einige Zolle vor dem Auge gelegen sei. Denn läge er z. B. in einem Abstande von 30″, dann könnten wir ja derartige feine Proben, zu deren Erkennen bei normaler Sehschärfe eine gewisse Annäherung unumgänglich nothwendig ist, damit das kleinste Netzhautbild den nothwendigen Durchmesser erlange, gar nicht anwenden, wir müssten zu verhältnissmässig grosser Druckschrift, groben Punktproben oder einem aus dickeren und weiter abstehenden Drähten construirten Optometer greifen. Solche Bestimmungen des Nahepunktes für unbegrenzte Entfernungen wären schon gar nicht durchführbar. Man bringe desshalb, wenn der Nahepunkt den Abstand von 12″ überschreitet, denselben unter Zuhilfenahme einer Convexlinse mindestens auf 12″ oder auf eine grössere Nähe heran und berechne aus dem Werthe des verwendeten Convexglases die wirkliche Lage von p.

Es hätte ein Auge, mit Convex 36 bewaffnet, den Nahepunkt in 9″, so heisst das: die Summe der zwei Linsen, deren eine sich das Auge (sei es, dass es emmetropisch ist, sei es, dass es sich zunächst durch Accommodation emmetropisch gemacht) vermöge seiner Accommodation (von der Einstellung für ∞ angefangen) noch zulegen kann

Digitized by Google

und die wir nicht kennen, daher mit $\frac{1}{x}$ bezeichnen wollen, und deren andere $\frac{1}{36}$ ist, — die Summe dieser beiden Linsen ist gleich $\frac{1}{9}$. Das Auge hätte ja denselben Nahepunkt, falls es sich eine Linse $^1/_9$ zu der Linsenfigur zulegen könnte, die der Einstellung für parallele Strahlen entspräche. Es ist also: $\frac{1}{x} + \frac{1}{36} = \frac{1}{9}$ und daher

$$\frac{1}{x} = \frac{1}{9} - \frac{1}{36} = \frac{1}{18}$$

Das in Rede stehende Auge kann sich daher (von der Einstellung für die Unendlichkeit anfangend) nur eine Linse $^1/_{18}$ zulegen, hat demnach den Nahepunkt in 18″. Ist im Allgemeinen $\frac{1}{f}$ der Werth des angewendeten Convexglases, $\frac{1}{\pi}$ der reciproke Werth des mit Hilfe des Glases resultirenden Nahepunktsabstandes, dann ist $\frac{1}{x}$, der reciproke Werth des wirklichen Nahepunktsabstandes, gleich $\frac{1}{\pi}$ weniger $\frac{1}{f}$, also $\frac{1}{x} = \frac{1}{\pi} - \frac{1}{f}$ und daraus $x = P$ leicht zu finden (wobei der Abstand des Glases vom Knotenpunkte des Auges vernachlässigt werden soll).

Die Schwierigkeit bei der Bestimmung des Nahepunktes ist eine doppelte. Es kann 1.) der Betreffende nicht gezwungen werden, seine Accommodation auf's Aeusserste anzuspannen, selbst wenn wir dadurch, dass wir das Prüfungsobject dem zu Prüfenden in die Hand geben und ihn dasselbe möglichst dem Auge nähern heissen, den nisus accommodationis so viel als möglich anregen, und 2.) hat es seine Schwierigkeit und bedarf einer gewissen Intelligenz, um bei wachsender Annäherung des Objectes genau die Stelle anzugeben, an welcher dasselbe undeutlich zu werden beginnt. Die Schrift Nr. 1 Jaeger, die feinste, die wir bisher anwenden, kann auch innerhalb der Nahepunktsgrenze, besonders wenn die letztere sehr nahe am Auge gelegen ist, in einem gewissen Bereiche durch Zerstreuungskreise noch gelesen werden; das Stäbchenoptometer, dessen Fäden die Aufmerksamkeit nicht so zu fesseln vermögen, fordert die Accommodation nicht in gleicher Weise wie die Druckschrift heraus, das Undeutlicherwerden der Streifen wird

Digitized by Google

im Beginne der Erscheinung von weniger intelligenten Individuen nur schwer und schwankend angegeben und endlich ist dieses Optometer wegen der dem Auge anhaftenden monochromatischen Aberration überhaupt kein passendes Prüfungsobject. So erklärt es sich, dass wenn wir die Versuche mit Schrift und Optometer bei demselben Individuum wiederholen, wir sehr selten genau übereinstimmende Werthe erhalten. Da nun in der Nähe des Auges Abstände von dem Bruchtheil eines Zolles schon dem Werthe einer Linse $\frac{1}{24}$ (s. pag. 80) entsprechen, so begreift sich die Schwierigkeit der Nahepunktsbestimmung.

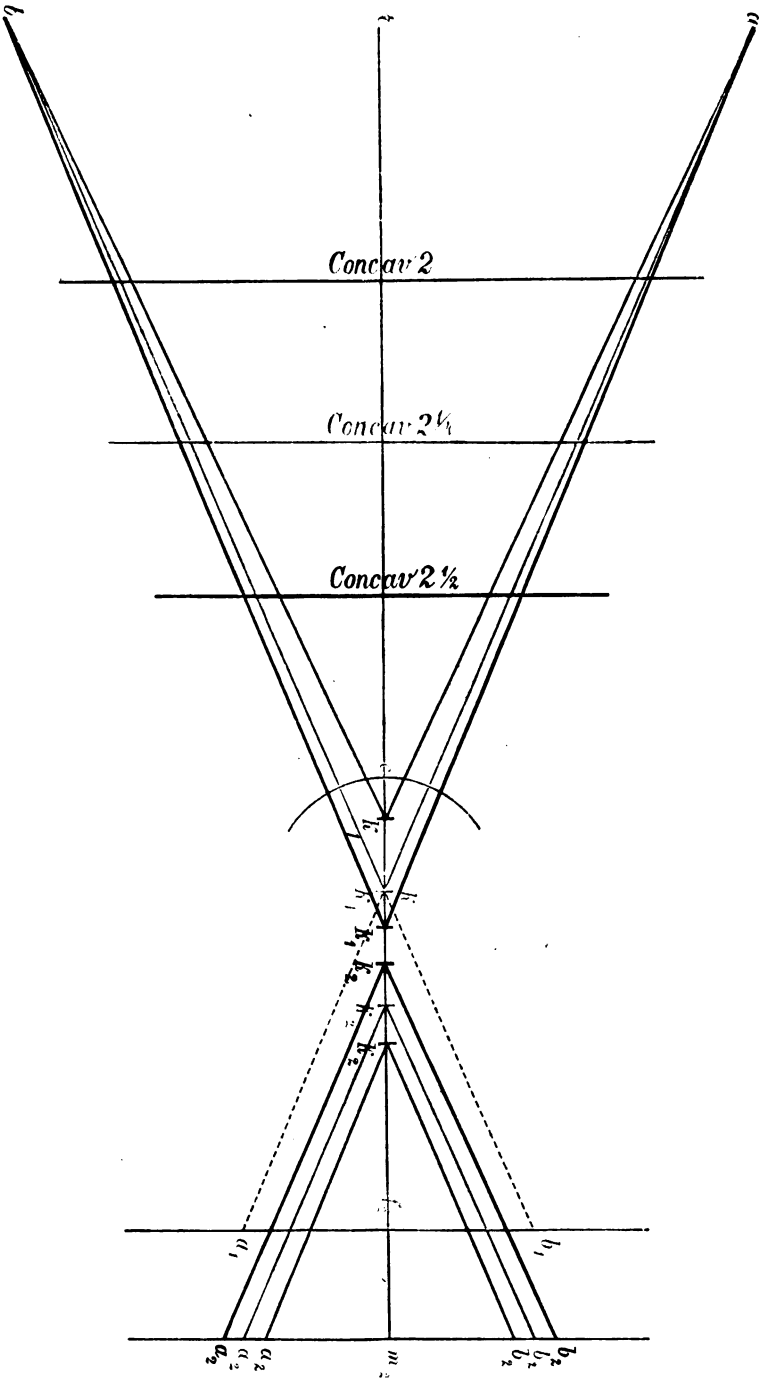
Die weitaus besten Resultate erhält man noch, wenn man die Burchardt'schen Punktproben zur Feststellung des punctum proximum verwendet. Sie sind in den verschiedensten Abstufungen bis zu solcher Kleinheit ausgeführt, dass die feinsten derselben auch bei der grössten Annäherung des Nahepunktes keine Zerstreuungskreise vertragen, sollen sie richtig aufgelöst werden; und der Umstand, der sie, wie wir sahen, zur vergleichenden Prüfung der Sehschärfe minder tauglich macht, dass nämlich das Grundpapier um so dunkler wird, je kleiner die Proben werden, fördert ihre Brauchbarkeit zur Bestimmung der Accommodationsgrenze, weil es eben einer weniger genauen Einstellung bedürfen würde, um schwarze Punkte auf weissem, als auf grauem Papier noch isolirt zu erkennen. Würden Schriftproben in gehöriger Kleinheit gegossen, dann würden auch diese trefflich dienen. Es wird in der That eben daran gearbeitet, noch einige Abstufungen von Jaeger Nr. 1 herzustellen.

Für klinische Bestimmungen des Nahepunkts können Optometer, sei es, dass man eines der älteren, auf dem Scheiner'schen Principe beruhenden, sei es, dass man das neuere Burow'sche Instrument zur Verwendung bringt, nicht gebraucht werden, weil, wenn das ungeübte Auge nicht genau die Lage des Objectes kennt, wenn es nicht dadurch, dass der zu Prüfende selbst das Object allmälig dem Auge annähert, zu möglichst starker Accommodation angeregt wird, seinen Accommodationsmuskel nur ungenügend contrahirt.

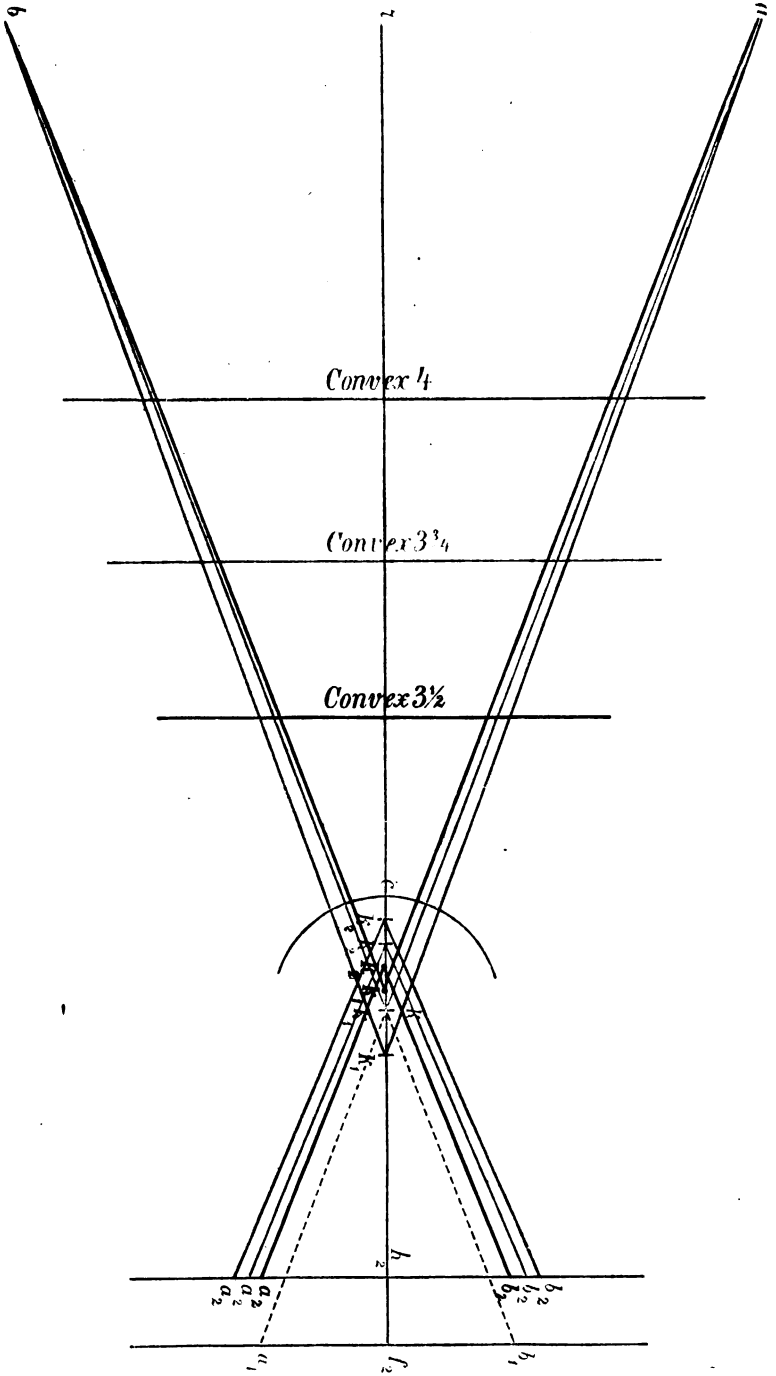
C. Ueberreuter'sche Buchdruckerei (M. Salzer).

Digitized by Google

Digitized by Google



Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

28.D.1672.1
Vorlesungen uber die optischen 1672
Countway Library BEX9389
3 2044 046 118 709

Digitized by Google

28.D.1872.1
Vorlesungen uber die optischen 1872
Countway Library BEX9269
3 2044 046 118 709